

Untersuchungen über die
genetische Strahlenbelastung des Patienten
in der Hautröntgentherapie

Norbert Haumayr

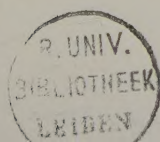
Aus der Dermatologischen Klinik der Universität München
Direktor: Prof. Dr. Alfred Marchionini

UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE GENETISCHE STRAHLENBELASTUNG DES
PATIENTEN IN DER HAUTRÖNTGENTHERAPIE

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der Zahnheilkunde
verfaßt und einer Hohen Medizinischen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Norbert Haumayr
aus Prien

1959



Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Referent:	Priv. Doz. Dr. med. C. G. Schirren
1. Korreferent:	Prof. Dr. A. Marchionini
2. Korreferent:	Prof. Dr. v. Braunbehrens
3. Korreferent:	Prof. Dr. Dr. J. Heiß
Dekan	Prof. Dr. K. Kolle

Tag der mündlichen Prüfung: 14. Mai 1959

Meinen Eltern gewidmet

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
A) Einleitung	1
I. Allgemeine Grundlagen	1
1. Physikalische Grundlagen	2
2. Strahlenbiologische Grundlagen	7
3. Genetische Strahlenbelastungen	10
a) "Natürliche" Strahlenbelastung	13
b) "Künstliche" Strahlenbelastung	16
c) Strahlenschutz	19
II. Strahlenbelastung der Gonaden in der Röntgendiagnostik	23
III. Strahlenbelastung der Gonaden in der Röntgentiefen- therapie	27
IV. Strahlenbelastung der Gonaden in der Oberflächentherapie	30
B) Eigene Untersuchungen	32
I. Allgemeine Betrachtungen	32
II. Technik der Messungen	36
a) Kugel- und Zylinderkammern	37
b) Argonkammern	38
c) Protokollierung	42
III. Ergebnisse	43
1. Entzündungsbestrahlung	43
a) Entzündungsbestrahlung der Extremitäten	43
) Ekzembestrahlung der Hände	43
) Bestrahlung von Schweißdrüsen-Abszessen der Achselhöhle	44
) Ekzembestrahlung von Ober- und Unterschenkel	44
b) Bestrahlung der Genital- und Analregion	45
) Bestrahlung von Analekzemen bei Männern	45
) Bestrahlung der Genital- und Analregion bei Frauen	46
2. Röntgen-Fernbestrahlung der Haut	48
a) Männer	48
b) Frauen	49

	Seite
3. Röntgentherapie gutartiger und bösartiger Haut- geschwülste	51
a) Bösartige Tumoren des Kopfes	52
b) Tumoren des Rumpfes	57
) Brust und Bauch	57
) Achselhöhle	58
) Analregion	59
) Penis	60
c) Hauttumoren an den Extremitäten	60
) Ober- und Unterschenkel	60
) Füße	61
4. Röntgen-Epilation	61
5. Grenzstrangbestrahlung	62
a) Männer	62
b) Frauen	63
C) Strahlenbelastung für ärztliches und tech- nisches Personal im Bestrahlungsraum	64
I. Schaltpersonen	65
1. Dermopan	65
a) Nahbestrahlung	65
b) Fernbestrahlung	68
2. Monopan	70
3. Tiefentherapiegerät	70
II. Ärztliches Personal	71
III. Hilfspersonal	71
D) Gesamtdiskussion	73
Zusammenfassung	76
Literatur	78
Lebenslauf	85

A) E I N L E I T U N G

I. Allgemeine Grundlagen

Die Aufgabe des Strahlenschutzes in der medizinischen Radiologie beschränkte sich in der früheren Zeit darauf, das Personal der Betriebe und den Patienten vor Strahlenschäden zu schützen. Heute betrifft die Problematik des Strahlenschutzes die ganze Menschheit. Verschwindend klein war noch vor 20 Jahren die Anzahl der Menschen, die mit Röntgen- oder Radiumstrahlen beschäftigt waren oder behandelt wurden, im Vergleich zur übrigen Bevölkerung der Erde. Es ist klar, daß diese geringe Anzahl keine Bedeutung hatte in bezug auf die Erhaltung der Gesundheit und des Erbgutes der gesamten Population. Heute hat sich die Situation grundlegend geändert. In zivilisierten Ländern gibt es kaum mehr einen Menschen, der nicht schon irgendeinmal mit medizinischen Röntgenstrahlen in Berührung gekommen wäre. Ein weiteres Problem schafft das immer stärkere Vordringen der Anwendung radioaktiver Isotopen in verschiedensten Forschungszweigen und in der Technik, sowie die angestrebte und teilweise schon in der Verwirklichung begriffene Ersetzung konventioneller Energiequellen durch Kernspaltungsenergie. Eine mit der Zeit immer ernster werdende Gefahrenquelle stellen die andauernden Atomwaffenversuche dar.

Die so im Laufe der letzten Jahrzehnte immer größer gewordene Strahlenbelastung weiterer Bevölkerungskreise verleiht der Diskussion über den Strahlenschutz heute ein viel stärkeres Gewicht als früher. Angesichts dieser Entwicklungen ist heute nicht mehr von der Hand zu weisen, daß ernsthaft bedacht werden muß, die diagnostische und therapeutische Anwendung energiereicher, ionisierender Strahlungen in der Medizin auf das unbedingt erforderliche Ausmaß zu beschränken.

Wie weit Strahlenschutzprobleme in der Hautröntgentherapie von Wichtigkeit sind und wie groß die Gefahr genetischer Strahlenbelastung nach Einführung der Weichstrahltherapie mit berylliumgefensterten Röhren noch ist, soll im Rahmen vorliegender Dissertation auf Grund umfangreicher eigener Strahlenschutzmessungen beantwortet werden.

Vorher erscheint es jedoch erforderlich, eine zusammenfassende Aufstellung allgemeiner physikalischer und strahlenbiologischer Grundlagen und einen Überblick über die genetische Strahlenbelastung bei der Durchführung einer Röntgentiefentherapie und einer Röntgendiagnostik zu geben.

1. Physikalische Grundlagen

Was sind nun ionisierende Strahlen, wo kommen sie her und welcher Art ist ihre Wirkung?

SEELENTAG (1957) (74) sagt dazu: "Unter Strahlung im allgemeinen Sinne verstehen wir jeden Vorgang, der sich von einer Strahlenquelle aus wellenförmig im Raume ausbreitet. Dazu gehören z.B. die elektromagnetischen Wellen mit ihren je nach Wellenlänge verschiedenen physikalischen und physiologischen Wirkungen.

Von einem gewissen Energiegehalt des einzelnen Strahlenquants ab, der für Wirkungen in nennenswertem Ausmaß bei den Röntgenstrahlen beginnt, haben diese Strahlungen die Eigenschaft, aus den elektrisch neutralen Molekülen der Luft Elektronen herauszuschlagen und diese Moleküle dadurch zu elektrisch positiv und negativ geladenen Ionen zu machen, die Luft also zu "ionisieren": Strahlen, die dies vermögen, sind unter dem Sammelbegriff der ionisierenden Strahlen zusammengefaßt."

Eine Tabelle aus HANLE, W. (1957) (18) gibt ein anschauliches Bild über die elektromagnetischen Strahlen mit Wellen- und Quantencharakter. Man sieht, wie mit abnehmender Wellenlänge die Energie des einzelnen Strahlungsquants zunimmt.

Tabelle 1
Elektromagnetische Strahlen (nach HANLE (1957))

			Wellenlänge	Energie des Strahlungsquants in e Volt
Elektrische Wellen	Niederfrequenz		10 000 km	$12,4 \cdot 10^{-14}$
			1 000 "	10^{-13}
			100 "	10^{-12}
			10 "	10^{-11}
	Hochfrequenz	Langwellen	1 "	10^{-10}
		Mittelwellen	100 m	10^{-9}
		Kurzwellen	10 "	10^{-8}
		Ultrakurzwellen	1 "	10^{-7}
			10 cm	10^{-6}
			1 "	10^{-5}
		Mikrowellen	1 mm	10^{-4}
Licht	Ultrarot		100 μ	10^{-3}
			10 "	10^{-2}
			1 "	10^{-1}
	sichtbares Licht		1 000 A.E.	10^0
	ultraviolett		100 "	10^1
Röntgenstrahlung	Röntgenstrahlen		10 "	10^2
			1 "	10^3
Gammastrahlung	Gammastrahlen		0,1 "	10^4
			0,01 "	10^5
			1 X.E.	10^6
Ultrastrahlung	Ultrastrahlung		0,1 "	10^7
			0,01 "	10^8
			0,001 "	10^9

$$\mu = 10^{-3} \text{ mm}, \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ mm}$$

$$\text{A.E. (auch A}^0, \text{ Angström - Einheiten)} = 10^{-8} \text{ cm}$$

$$\text{X.E. (X-Einheiten)} = 10^{-11} \text{ cm}$$

Der Vollständigkeit halber und zum besseren Verständnis des allgemeinen Strahlenschutzproblems muß aber erwähnt werden, daß es zwei Arten von ionisierenden Strahlungen gibt: die bereits angeführte elektromagnetische und die Korpuskularstrahlung. Diese besteht aus schnellbewegten Elementarteilchen, aus Elektronen (β -Strahlen des Radiums), aus Protonen oder hüllenlosen Atomkernen des Heliums (α -Strahlen des Radiums).

Außerdem gehört dazu die Strahlung schneller und thermischer Neutronen (POHLIT 1957 (58), SEELENTAG 1957 (74)). Letztere sind zwar elektrisch indifferent, können aber die Atome der durchstrahlten Materie fortstoßen. Die Atome erhalten dadurch kinetische Energie, die sich in Form von dichten Ionisationen in der Umgebung ausbreitet. Oder die Neutronen lagern sich an Atomkerne an und machen diese dadurch radioaktiv. Alle diese beschleunigten Elementarteilchen können in Beschleunigungsmaschinen erzeugt werden (Betatron, Zyklotron, Synchozyklotron, Synchotron). β - und α -Strahlen entstehen auch neben der γ -Strahlung, beim radioaktiven Zerfall der natürlichen und künstlichen radioaktiven Substanzen.

Zur Wirkung im Gewebe gelangt nur der Teil der ionisierenden Strahlung, der vom Gewebe tatsächlich absorbiert wird, der also im Geweberaum "hängenbleibt" und seine Energie abgibt. Der Teil, der ohne Energieabgabe lediglich durch den Körper durchtritt, wird auch nicht wirksam.

Unter Dosis verstehen wir die Menge der absorbierten Energie, bezogen auf die Volumen- oder Masseneinheit. Bei gleicher physikalischer Dosis kann aber die biologische Wirkung vergrößert sein, wenn die Art der Strahlung eine große Ionisationsdichte aufweist (z. B. schwere Korpuskeln).

Tabelle 2

Wirkung verschiedener Strahlenarten (nach LORENZ, 1957) (40)

Strahlenart	Energie	ionisierendes Teilchen	Ionendichte (Ionen (n) in H_2O)
β -Teilchen	100 Me V	Elektron	20
γ -Quant	100 Me V	"	10
β -Teilchen	1 Me V	"	10
γ -Quant	1 Me V	"	10
β -Teilchen	10^2 Ke V	"	100
harte Röntgenquanten	10^2 Ke V	"	200
β -Teilchen	10 Ke V	"	1000
weiche Röntgenquanten	10 Ke V	"	2000
schnelle Neutronen	1 Me V	Proton	1000
langsame Neutronen	1/30 e V	Elektron	10
α -Teilchen		He-Kern	4000
Spaltprodukte	100 Me V	schwerer Kern	100 000

Als Energiemaß dient in der Spannungsphysik das Elektronenvolt (eV)

1 Ke V (Kiloelektronvolt) = 1000 eV

1 Me V (Megaelektronvolt) = 1 000 000 eV = 1000 Ke V

Die Angabe der Dosis erfolgt in verschiedenen Einheiten:

(aus RAJEWSKY (1957) (61) und SEELENTAG (1957) (74))

Röntgen (r)

Dosiseinheit für Röntgen- und Gammastrahlen. Das Röntgen (r) ist diejenige Menge Röntgen- oder γ -Strahlung, die in 0,001293 g Luft (1 cm^3 , 0°C , 760 mm Hg) $2,09 \times 10^9$ Ionenpaare (eine elektrostatische Einheit) erzeugt.

1 r entspricht einer absorbierten Energie von 83,7 erg je g Luft oder
93 erg je g Gewebe

rad

Dosiseinheit für alle Arten ionisierender Strahlung

Das rad entspricht der abgegebenen Energie von 100 erg pro g irgend einer Substanz.

Bei Röntgen- und Gammastrahlung kann für "weiches Gewebe" 1 r praktisch gleich 1 rad gesetzt werden.

rep (= roentgen equivalent physical)

Ältere Dosiseinheit für alle Arten ionisierender Strahlung.

1 rep ist diejenige Menge einer ionisierenden Strahlung, bei der eine Energieabgabe von 93 erg je g Gewebe erfolgt.

Die ionisierenden Strahlen wirken qualitativ völlig gleich, aber es bestehen quantitative Unterschiede, weil, wie vorher angeführt, die biologische Wirkung nicht nur von der Menge der verabfolgten Energie, sondern auch von der Ionisationsdichte, von der räumlichen Aufeinanderfolge der einzelnen Ionisationen abhängt. Diese Abhängigkeit wird mit "relativer biologischer Wirksamkeit (RBW)" bezeichnet. Die RBW, als Mittelwert aus verschiedenen biologischen Effekten, ist der Faktor, mit dem die betreffende Strahlung wirksamer ist als eine Quantenstrahlung üblichen Energieniveaus (SEELENTAG 1957).

rem (= roentgen equivalent man)

Biologische Dosiseinheit für alle Arten ionisierender Strahlen.

1 rem ist diejenige Dosis irgend einer ionisierenden Strahlenart, die unter gleichen Bedingungen den gleichen biologischen Effekt hervorruft wie 1 r (oder 1 rad) Röntgenstrahlen hoher Erzeugerspannung.

Die Dosis in rem ist gleich der Dosis in rad, multipliziert mit dem entsprechenden Wert der "Relativen Biologischen Wirksamkeit" (RBW).

Die 1/1000 stel Teile dieser Einheiten sind das Milliröntgen (mr), das mrep, das mrad oder mrem. Entsprechend der 1/1 000 000 ste Teil das mikro-r (μ mr), μ rep usw.

Zur Erleichterung der im folgenden immer wiederkehrenden Terminologie zwei Tabellen aus V.K. JLG (1957)(26), die über die Zusammenhänge in der Bezeichnung von Röntgendosen und von Röntgendosisleistung Aufschluß geben:

Tabelle 3

Dosis

	r	mr	μ r
1 r =	1	1000	1 000 000
1 mr =	$\frac{1}{1000}$	1	1 000
1 μ r =	$\frac{1}{1\,000\,000}$	$\frac{1}{1000}$	

r = Röntgen

mr = Milliröntgen

μ r = Mikroröntgen

h = Stunde

min = Minute

s = Sekunde

Tabelle 4
Dosisleistung

	mr/h	μ r/s	r/h	r/min
1 mr/h =	1	0,28	0,001	0,000017
1 μ r/s =	3,6	1	0,0036	0,00006
1 r/h =	1000	280	1	0,017
1 r/min =	60000	17 000	60	1

2. Strahlenbiologische Grundlagen

Für ionisierende Strahlen gibt es einen bevorzugten Angriffspunkt, den Chromosomenapparat, und ein zeitliches Optimum, den Augenblick kurz vor Eintritt der Zelle in die Mitose (H. GÜNTHER, 1957)(17). Daraus resultiert eine Kettenreaktion, in deren Verlauf die Kern- bzw. Zellteilung gehemmt oder in falsche Bahnen gelenkt wird. Solche Entgleisungen des Mitoseablaufes führen stets zu einer Beeinträchtigung der Lebensfähigkeit der betroffenen Zelle und u.U. auch folgenden Zellgenerationen, oft bis zum Zelluntergang.

Tabelle 5

Schädigung des Menschen nach einmaliger Bestrahlung des ganzen Körpers mit ionisierenden Strahlen, aus HERBST (1955)(22)

50 - 100 r	erste feststellbare somatische Veränderungen, einige % strahlenkrank
100 r	Verkürzung der durchschnittlichen Lebenserwartung um 50 %
150 - 200 r	etwa 50 % strahlenkrank
200 - 300 r	100 % strahlenkrank, einige Todesfälle
400 - 500 r	etwa 50 % Todesfälle
700 r	nahezu 100 % Todesfälle

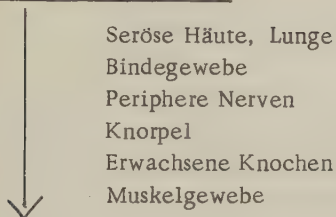
Die Empfindlichkeit der verschiedenen Körperzellen ist allerdings unterschiedlich. Sie ist um so größer, je undifferenzierter, je embryonaler eine Zelle ist. Für den Strahlenschutz und die Strahlentherapie ist dies von entscheidender Bedeutung (Undifferenziertheit bösartiger neoplastischer Wucherungen).

Tabelle 6

Die verschiedenen Gewebe nach absteigender Strahlensensibilität geordnet, unter Berücksichtigung strahlenbedingter Funktionsstörungen (nach LORENZ, 1957)(40)

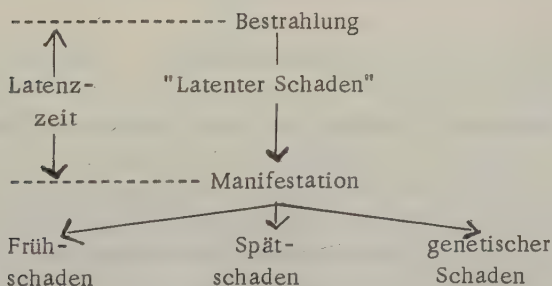
Fermente (z.B. der DNS-Synthese), Vegetativum
ZNS, Nebenniere, Schilddrüse
Lymphatische Gewebe
Knochenmark
Intestinaltrakt
Kapillarwand
Keimdrüsen
Foetus
Leber, RES, Niere
Schleimhäute, Speicheldrüsen
Haarpapille
Knochenwachstumszone
Augenlinse
Schweiß- und Talgdrüsen
Epidermis

Fortsetzung Tabelle 6:



Der Organismus antwortet durch humorale und nervale Regulationen ständig auf irgendwelche Reize und versucht, die gesetzten Schädigungen zu kompensieren bzw. zu eliminieren. Diese Tatsache kann, nach Bestrahlung irgendeines Körperabschnitts, bei Überbelastung dieser Regulationen zu Schädigungen in ganz anderen Organen und Organsystemen führen, obwohl in diesen Organen keine strahlende Energie absorbiert wurde. Die Zeit, von der Bestrahlung bis zur Manifestation eines Schadens, in der diese Regulationen wirken, ist die Latenzzeit. Die Größe der Latenzzeit erlaubt eine Einteilung der verschiedenen Schäden.

Tabelle 7
(nach AURAND, 1957)(2)



Man muß die Schädigung des Individuums und die Schädigung der Population trennen. Beim Individuum unterscheidet man Frühschäden und Spätschäden (Früh- und Spätreaktionen). Beide Formen können nach Lokal- und nach Ganzkörperbestrahlung auftreten. Eine besondere Form einer sehr späten Schädigung ist der genetische Schaden. Hier wird der "latente Schaden" u.U. über viele Generationen weitergegeben.

Tabelle 8 zeigt eine Einteilung der verschiedenen Arten von Strahlenschäden, unter Berücksichtigung dieser Gesichtspunkte.

Tabelle 8
(nach AURAND, 1957)(2)

Popu- lation	Genetische Schäden	Mutationen "Genetischer Tod"	Gona- den	Bestrah- lung der
	Frucht- Schäden	Mißbildungen	Frucht	
Indivi- duum	Spät- schäden	Katarakt Strahlenkrebs	lokal	
		Leukämie	ganz	
	Früh- schäden	Epilation Ulcus	lokal	
		Akute Strahlen- krankheit Strahlentod	ganz	

3. Genetische Strahlenbelastungen

Genetische Schäden treten nach Bestrahlung der Gonaden auf. Es kommt zu Mutationen in den Genen, die durch Summation noch nach Generationen zu erheblichen Wertminderungen der Population, ja theoretisch sogar zum genetischen Tod führen können. Da diese ganze Arbeit sich mit der genetischen Strahlenbelastung in der Hautröntgentherapie befaßt, möchte ich alle übrigen Schäden durch ionisierende Strahlen außer acht lassen, über die Vorgänge in den Keimzellen aber noch nähere Angaben machen.

Die experimentelle Biologie konnte zeigen, daß die Erbkonstitution der Organismen durch die sog. Mutationen bleibend verändert werden kann. Ohne nachweisbare Ursache geschieht dies in geringer Häufigkeit spontan. Seit dem Vortrag von MULLER auf dem Internationalen Genetikerkongreß in Berlin im Jahre 1927 (50) ist aber bekannt, daß auch Röntgenstrahlen bleibende Veränderungen an den Erbstrukturen der Zelle - eben Mutationen - in einem hohen Prozentsatz auslösen können. Die Strahlengenetik war ins Leben gerufen und nahm ihre stürmische Entwicklung, den heutigen Stand hat MARQUARDT (1957(44)) zusammengefaßt.

Auf die ganz genauen Einzelheiten dieses hochinteressanten Gebietes soll hier nicht eingegangen werden, nur die wichtigsten Gesichtspunkte möchte ich kurz darlegen.

TIMOFEEFF-RESSOVSKY, einer der besten Kenner auf diesem Gebiet, zeigte 1939 mit Zimmer an Versuchen mit der für diese Zwecke besonders geeigneten *Drosophila melanogaster*, daß die Anzahl der durch Röntgenbestrahlung verursachten Mutationen direkt proportional der Bestrahlungsdosis verläuft (84). Weiter bewies er eine völlige Unabhängigkeit von der Intensität der Bestrahlung, der Zeitfaktor bleibt 1. Schließlich konnte er durch Versuche mit verschiedenen Qualitäten (von β - bis zu γ -Strahlen) beweisen, daß die Auslösung der geschlechtsgebundenen Mutationen auch unabhängig von der Wellenlänge ist.

Es ist somit gleichgültig, ob man die Bestrahlung verdünnt oder fraktioniert, ob es sich um weiche Grenzstrahlen oder harte γ -Strahlen handelt, es kommt bei der Auslösung der Mutation lediglich auf die verabreichte Gesamtdosis an.

Daraus stellte TIMOFEEFF-RESSOVSKY die sog. Treffertheorie auf, welche besagt, daß, da bei der Mutationsauslösung eine Ionisation als Treffer gilt und zur Auslösung einer Mutation nur ein Treffer nötig ist, eine Mutation durch eine Ionisation bzw. Anregung eines Atoms ausgelöst wird.

Die Träger der Erbanlagen, die Gene, sind in den Chromosomen angeordnet. Die in ihnen lokalisierte Desoxyribonucleinsäure (GLASS, 1957)(11) trägt die genetische Information von Generation zu Generation weiter. Die in dieses Geschehen eingreifenden ionisierenden Strahlen rufen zwei Typen von Erbänderungen hervor (MARQUARDT, 1957):

1. Die Chromosomenmutationen

Sie werden erzeugt durch hohe Dosen ionisierender Strahlen und stellen sich als mikroskopisch sichtbare Veränderungen in der Chromosomenstruktur dar (Brüche, Umbauten). Sie sind in der Regel dominant und werden mit geringen Ausnahmen innerhalb weniger Generationen eliminiert.

2. Die Punktmutationen

Diese sind Erbänderungen im submikroskopischen Bereich. Sie entstehen wahrscheinlich durch Änderungen der Aufeinanderfolge der Purin- und Pyrimidinbasen (GLASS, 1957)(11). Die durch ionisierende Strahlen ausgelösten Punktmutationen sind in der Regel rezessiv. D.h., sie treten nur in Erscheinung (Phänotyp), wenn eine solcher Art geschädigte Keim-

zelle mit einer zweiten zusammentrifft, die eine Punktmutation in gleicher Weise und am gleichen Genort aufweist - vielleicht in der 5. oder 50. Generation nach der erfolgten Bestrahlung.

Die rezessiven Punktmutationen, die den größten Anteil aller strahleninduzierten Mutationen ausmachen, werden nach MARQUARDT (1957)(45) weiter unterschieden in

1. Letale = 0 % der Nachkommen erreichen die Fortpflanzungsfähigkeit
2. Subletale = 8 - 10 % erreichen die Fortpflanzungsfähigkeit
3. Detrimental = 10 - 85 % erreichen die Fortpflanzungsfähigkeit (Geschädigte)
4. Sichtbare = Änderung einer leicht feststellbaren Eigenschaft (meist auch detrimental)

Es erhebt sich nun ganz zwangsläufig die Frage nach der Höhe der Strahlendosen bzw. Dosisleistungen, die nach dem heutigen Stand der Erkenntnisse für den Menschen als unwirksam oder wenigstens als ungefährlich angesehen werden kann.

Es ist beim Menschen bis heute kein einziger gesicherter Nachweis einer erblichen Strahlenschädigung bekannt. CHANTRAINE (1951)(4) lehnt es deshalb ab, die Ergebnisse aus Versuchen mit der Drosophila und der Maus einfach auf den Menschen zu übertragen. Die Röntgenstrahlen seien keineswegs ein größeres Keimgift als z.B. verschiedene Chemikalien. LÜERS (1957)(42), mit ihm stimmen alle maßgeblichen Genetiker überein, kommt durch Vergleiche von Mitose, des feineren Aufbaus der Chromosomen und der Erscheinungen der Mutabilität der Gene zu dem Schluß, daß der Mensch genetisch ebenso strahlenempfindlich ist wie andere Organismen auch. Innerhalb des gesamten Organismenbereiches (vom Virus bis zum Menschen) besteht eine Homologie des genetischen Materials bezüglich seines Verhaltens, seiner Morphologie, seiner Funktionen und Reaktionen. Die maximal zulässige Dosis wird daher durch genetische Wirkungen bestimmt (JOYET, 1957)(31).

Die Gesamtmutationsrate eines Individuums errechnet sich aus der spontanen Mutationsrate plus der strahleninduzierten Mutationsrate. Wir müssen dabei bedenken, wie bei allen Betrachtungen über die biologische Wirkung ionisierender Strahlung, daß der Mensch und alle Lebewesen auf der Erde seit Jahrtausenden in einem Strahlungsmilieu leben, das als einer von vielen beeinflussenden Faktoren die Entwicklung im phylogenetischen Sinne mitbestimmt.

a) "Natürliche" Strahlenbelastung

Worin besteht diese natürlich gegebene Strahlenbelastung und wie hoch sind ihre Dosisleistungen?

A. SCHRAUB (1957)(71) teilt das Gebiet in 2 Gruppen auf: in eine "Strahlenbelastung von außen" (alle Strahlungen, deren Ausgangspunkte außerhalb des Körpers liegen) und eine "Strahlenbelastung von innen" (alle Strahlungen, die frei werden beim Zerfall von radioaktiven Atomen, die in den Organismus gelangt sind).

Ein Vertreter der ersten Gruppe ist die kosmische Strahlung, die aus dem Weltraum auf uns eindringt. Unsere Erde ist einem Dauerhagel von schnellfliegenden Kernen ausgesetzt (79 % Protonen, 20 % He-Kerne, also α -Teilchen, 1 % andere schwere Kerne), die mit Energien bis 10^{12} eV und mehr in die Lufthülle eindringen. Sie werden in der Ionosphäre gebremst und umgewandelt, schließlich kommt auf der Erde ein sehr durchdringungsfähiges Strahlungsgemisch von γ -Quanten, schnellfliegenden Positronen und β -Teilchen an. Die Menge der kosmischen Strahlung hängt von der Dicke der durchdrungenen Luftschicht ab und nimmt deshalb mit steigender Höhe über dem Meeresspiegel zu. In Seehöhe führt sie zu einer Ionisation der Luft von etwa 1,9 Ionenpaaren pro sec und cm^3 Luft (SEELENTAG 1957 (74), SCHRAUB 1957 (71)).

Eine zweite Komponente der natürlichen Grundstrahlung ist die Umgebungsstrahlung, die von der Erdkruste geliefert wird. Das Gestein unserer Erde enthält die natürlichen radioaktiven Substanzen Radium 226, Thorium 232 und Kalium 40 in Spuren. Der Wert der sich daraus ergebenden Strahlenbelastung ist je nach geographischer Lage großen Schwankungen und Abhängigkeiten unterworfen. Im geschlossenen Raum sind die Verhältnisse durch die Abschirmung, aber auch durch die Nähe der Baustoffe mit eigenen natürlichen radioaktiven Substanzen, anders als im Freien.

Dazu kommt noch die Belastung aus dem Gehalt der Luft an Radiumemanation. Das Radium zerfällt radioaktiv zu Radiumemanation, dieses dringt als Gas aus dem Boden und verteilt sich in die Atmosphäre, wo es durch den Wind verschleppt werden kann.

Zur "Strahlenbelastung von innen" ist zu sagen, daß der Mensch einer Eigenstrahlung ausgesetzt ist, die von radioaktiven Stoffen ausgeht, die natürlicherweise in seinem Körper enthalten sind. Der Hauptteil stammt vom Kalium 40, das am Aufbau des Körpers beteiligt und besonders in der Muskulatur zu finden ist. Weiter ist der Kohlenstoff 14 zu nennen, er nimmt am Kreislauf des Kohlenstoffs teil und gelangt über die Pflanzen in den Körper von Tier und Mensch.

Dann enthält noch das Skelett Radium, es ist in der anorganischen Knochensubstanz eingebaut. Schließlich sind noch die Folgeprodukte des Radiums zu erwähnen, die über die Lunge durch die Einatmung der in der Atmosphäre vorhandenen Radiumemanation in den Körper gelangen.

Tabelle 9
Natürliche Strahlenbelastung des Menschen

	1 Gonaden- belastung	2 Gonaden- belastung	3 Belastung des menschl. Körpers
Strahlenquelle	rad/30a	mrad/a	mrad/a
Äußere Einstrahlung			
kosmische Strahlung	1,0	28	25
irdische Strahlung	2,5	43	110
Radon in der Luft	0,2	1	20
Innere Einstrahlung			
Kalium 40	} 0,5	20	14,4
Kohlenstoff 14		2	1,2
Radon + Zerf. Prod.		1	5,16
Gesamtdosis pro Jahr		95	67-267
" in 30 Jahren	etwa 5,0	2850	2000-8000

1 = aus MELCHING und DRESEL (1957)(48) nach SIEVERT (1957)(76) abgeändert

2 = nach SPIERS 1956 aus Medical Research Council "The Hazards to Man of Nuclear and Allied Radiations", London 1956 (47), JÄGER (1957)(29), BILLION (1957)(3)

3 = nach COURSAGET 1955 aus SEELENTAG (1957)(74).

Die durchschnittliche natürliche Strahlenbelastung des einzelnen Menschen ergibt also aus diesen Angaben 2 - 8 rad in 30 Jahren.

Ausgangspunkt dieser Darlegungen war die Tatsache einer spontanen Mutationsrate. Nach den Untersuchungsergebnissen vieler Genetiker wird dazu von MARQUARDT folgende Tabelle angegeben:

Tabelle 10
(nach MARQUARDT (1957)(45))

Durchschnittliche spontane Mutationsrate
pro Gen und pro Generation

Objekt	Anzahl der Mutationen unter den Keimzellen
Drosophila	1 : 100 000 - 1 : 200 000
Maus	1 : 35 000 - 1 : 75 000
Mensch	1 : 20 000 - 1 : 45 000
Durchschnitt von 26 Muta- tionen	1 : 38 000

Die Größenordnung der Strahlendosis, welche diese spontane Mutationsrate verdoppelt, beträgt laut Tabelle 11 nach WESTREGAARD (1955)(91) und MARQUARDT (1957)(45)

Tabelle 11

Objekt	verdoppelnde Dosis
Drosophila	30 - 50 r
Maus	um 50 r
Mensch	niedrigster Wert 3-4 r höchster Wert 150 r

Für den Menschen werden als Durchschnittswert 40 r angenommen
(TIMOFEEFF-RESSOWSKY, 1939(84), SCHUBERT, 1940(72)).

Der niedrigste Wert von 3-4 r ergibt sich aus der Annahme, daß die gesamte spontane Mutationsrate durch die natürliche Strahlenbelastung bedingt ist. Auch KAPLAN (1957)(32) ist der Meinung, etwa 3 rem (30 Jahre) als den wahrscheinlich niedrigstmöglichen Wert für die Verdoppelungsdosis des Menschen anzusehen, solange nicht genügend gesicherte experimentelle Ergebnisse vorliegen.

Einige Genetiker haben auch auf die mögliche chemische Ursache der spontanen Mutationen hingewiesen, wie Abgase, Drogenverbrauch, mutagene Chemi-

kalien bei Stoffwechselvorgängen, Abbauprodukte der Aminosäuren (MUTH, 1958)(52).

Es besteht aber unter den Strahlengenetikern selbst heute noch keine einheitliche Meinung bezüglich einer höchstzulässigen Dosis der Gesamtbevölkerung. Die bis jetzt vorliegenden Erfahrungen zeigen ja, daß es bei der Betrachtung der Strahleneinwirkung auf das Individuum keine genetische "Toleranzdosis", keinen unteren Schwellenwert für eine schädliche Dosis gibt. (PICKHAN, 1938 (57); LÖSSL, 1957(38)). Durch die Tatsache der Summation der Strahlen in den Keimzellen schadet jede zusätzliche Dosis, wenn die Strahlung den Wirkungsort, die Gonaden, erreicht. Deshalb kommt der Ausschluß amerikanischer Genetiker, dem auch H. J. MÜLLER angehört, zu der Forderung: "Keep the dose as low as you can" (83).

b) "Künstliche" Strahlenbelastung

Die bestehende Wirklichkeit und nicht mehr zu ändernde Situation ist jedoch die, daß heute bereits praktisch jeder Mensch eine Strahlenbelastung erfährt, die über die naturgegebene Dosis hinausgeht. Die Ursache für diese zusätzliche Strahlenbelastung ist in dem steigenden Fortschritt in der Technik und der Medizin zu suchen .

Nach HOWARDT (1956) beträgt der Gesamtbetrag dieser durch künstliche Einflüsse zusätzlichen Strahlenbelastung des Menschen nach Erhebungen in Großbritannien ca. 26 % der natürlichen Belastung.

Tabelle 12
nach HOWARDT (1956)(25) und MUTH (1957)(51)

Strahlenquelle	Mittlere Gonadendosis in Millirad pro Individuum pro Generation (30 Jhr.)
Natürliche	3400
Künstliche	
Diagnostische Untersuchungen	700
Berufliche Strahlenbelastung ohne Berücksichtigung der Reaktorbetriebe	50
Berufliche Strahlenbelastung, nur Reaktorbetriebe	3
Schuhdurchleuchtung	3
Leuchtziffern von Armbanduhren	60
Fernsehen	< 30
Atomkern-Versuchs-Explosionen	30
Gesamtbelastung d. künstliche Einflüsse	876 $\approx 26\%$ der natürlichen Belastung

Nach dem Bericht des Medizinischen Forschungsrates in Großbritannien (1956) (47), ein Vergleich der Gonadendosis durch natürliche Strahlenbelastung mit der durch künstliche Belastung (%):

Tabelle 13

Natürliche Strahlenbelastung	100 %
Diagnostik	22 %
Strahlentherapie	?
Schuhdurchleuchtung	0,1 %
Leuchtzifferblätter	1,0
Fernsehempfänger	< 1,0
Flüge in großer Höhe	unbedeutend
Radiologie u. Industrie	mindestens 1,6
Atomenergiebehörde	0,1
Radioakt. Niederschläge nach Testexplosionen	< 1,0

90 % der künstlichen Strahlenbelastung stellt also allein die Röntgendiagnostik.

In Amerika und Schweden wird für die Diagnostikbelastung mit 3, 0 r/30 Jahre ein wesentlich größerer Wert angegeben als in England.

Tabelle 14

Strahlenbelastung pro Person im Laufe von 30 Jahren durch medizinisch-diagnostische Maßnahmen (aus MELCHING und DRESEL, 1957)(48)

	Mittelwert	% der natürl. Strahlenbelastung
Schweden	3, 0 r	90 %
U. S. A.	3, 0 r	70 %
England	0, 7 r	21 - 22 %

Die natürliche Strahlenbelastung beträgt in USA pro Amerikaner in 30 Jahren 4, 3 r, in großen Höhen 5, 5 r. Die Belastung durch Atombombenversuche 0, 25 r (aus WENDT (1956)(89)).

Über die Belastung durch die Strahlentherapie liegen noch kaum Ergebnisse vor, die eine Anwendung auf die Gesamtbevölkerung gestatten. Nach E. E. SCHMITH (47) kommt der Gesamtbetrag der strahlentherapeutischen Belastung - einschließlich der Therapie mit Radioisotopen - in den USA auf mindestens 8 % der natürlichen Grundstrahlung.

Bei der Festlegung einer Toleranzdosis ist der steigenden zusätzlichen Strahlenbelastung durch die heutigen und zukünftigen Fortschritte in der Technik Rechnung zu tragen. Die amerikanischen Genetiker sind der Meinung, daß etwa ein Viertel der sog. "Verdoppelungsdosis" (die Dosis, die zur Verdoppelung einer spontanen Mutationsrate führt, nach den heutigen Erkenntnissen etwa 40 r) für die Allgemeinheit und den Staat gerade noch tragbar erscheint, ohne allzugroße Gefährdung der nachfolgenden Generationen durch die Folgen zu zahlreich eingetretener Mutationen. Als Richtwert für eine höchstzulässige Gonadendosis nennen sie den Durchschnittswert 10 rem in 30 Jahren zusätzlich zur natürlichen Strahlenbelastung (83). Die Internationale Kommission für Strahlenschutz (ICRP) hat den im amerikanischen Bericht genannten Wert übernommen und sagt, in den ersten 30 Lebensjahren sind 10 rem als Strahlendosis für eine Bevölkerung zulässig.

c) Strahlenschutz

Der Begriff der "Toleranzdosis" hat eine lange Geschichte. Er wurde bereits 1902 diskutiert und als Strahlenintensität definiert, die dann als unschädlich angesehen werden kann, wenn nach einer Expositionszeit von 7 Minuten keine Schwärzung einer photographischen Platte erfolgt (= 20-30 r pro Tag) (BILLION, 1957)(3). Seitdem taucht das Wort "Toleranzdosis" bis heute immer wieder in der Literatur auf, ist aber ebensolange ein sehr umstrittenes Wort.

ERNST (1951)(8) fordert, es nicht mehr zu benutzen, da es gleichbedeutend mit "verträglicher Dosis" sei, und diese nicht genau zu bestimmen ist. Heute ist auch in allen offiziellen Mitteilungen das Wort "Toleranzdosis" durch "höchstzulässige Dosis" ersetzt.

Die erste Festlegung einer "Toleranzdosis" für Rö-Strahlen erfolgte durch MUTSCHELLER (1925)(53). Auf Grund von Rundfragen und Untersuchungen in amerikanischen Instituten nennt er dafür 1/100 einer Erythemdosis in 30 Tagen. Als Erythemdosis wird jene Strahlenmenge bezeichnet, die 8 Tage nach der Bestrahlung zu einer Hautrötung führt. SIEVERT empfahl zur gleichen Zeit als Toleranzdosis 1/10 der Erythemdosis in einem Jahr. Nach Einführung der Röntgeneinheit im Jahre 1928 konnte man physikalisch meßbare Größen angeben. Der erste Vorschlag dazu kam aus Deutschland mit 10^{-5} r/sec oder 0,25 r pro Tag. Er entspricht ziemlich genau der Mutscheller-Dosis. Auf Grund der Veröffentlichungen von MULLER über die genetischen Wirkungen der Röntgenstrahlen wollte man in Deutschland die Generationsorgane besonders schützen. Man nahm an, daß die Erbschädigungsdosis 10fach geringer ist und gab sie mit 10^{-6} r/sec (0,025 r/Tag) an (HOLSTEIN, 1942)(23).

Von der Internationalen Kommission für Strahlenschutz wurde 1934 zum ersten Mal ein Toleranzwert von 0,2 r/Tag empfohlen, der in den USA auf 0,1 r/Tag reduziert wurde (27, 28).

Diese Kommission besteht aus 5 Komitees, denen verschiedene Untersuchungsgebiete zugeteilt sind (JAEGER, 1957)(29):

- | | |
|--------|---|
| I + II | zulässige Dosen für äußere Einstrahlung (Leiter: Failla), für innere (Morgan) |
| III | Röntgen + Gammastrahlen bis 3 MeV (JAEGER) |
| IV | über 3 MeV + Protonen und Neutronen (MAYUEORD) |
| V | radioaktive Isotopen, Beseitigung der Abfälle (STRAUB) |

Der genetischen Strahlenwirkung wurde international erst 1950 Rechnung getragen. Man unterschied nicht wie in Deutschland zwischen somatischer und genetischer Dosis, sondern man senkte allgemein die höchstzulässige Wochen-

dos is auf 0,3 r (HOLTHUSEEN, 1958)(24).

Bis 1953 bezog sich das Interesse des Strahlenschutzes nur auf berufliche Strahlenbelastung. Nun kam zum 1. Mal die Berücksichtigung größerer Bevölkerungskreise zur Diskussion. Man nahm in die Empfehlungen die Strahlenbelastung des Patienten herein. Dazu kommen noch die Personen, die sich in der Umgebung von Strahlenanlagen und -räumen aufhalten: "innocent bystanders" in "incontrolled areas". Diese Personen bedürfen keiner ständigen Strahlenkontrolle, jedoch darf die höchstzulässige Dosis hier nur 10 % der beruflichen betragen, also 0,03 r pro Woche (JAEGER, 1957)(29). Die Tagung der ICRP 1956 in Genf (80) empfahl die höchstzulässige Wochendosis Beschäftigter, bei Gonaden, Gesamtkörper, Augenlinse, von 0,3 r weiter herabzusetzen auf 0,1 r, die Jahresdosis auf 5,0 r. Die Gesamtdosis soll bis zum 30. Jahr nicht mehr als 50 r betragen, und in den weiteren 3 Jahrzehnten mit je 50 r nicht mehr als 150 r, also nicht mehr als 200 r bis zum 60. Lebensjahr. Eine Erleichterung wird dadurch gewährt, daß Hände, Füße und Kopf mit dem 5-fachen Wert belastet werden dürfen. Außerdem kann die Wochendosis in Einzelfällen überschritten werden, wenn die Jahresdosis von 5 r eingehalten wird (HOLTHUSEN, 1958)(23).

Tabelle 15 zeigt den Stand von 1950 der höchstzulässigen Dosiswerte in verschiedenen Ländern und die neuesten ICRP-Empfehlungen und Vorschläge.

Tabelle 15
Höchstzulässige Dosiswerte in rem

	Tag	Woche	1/4 Jahr	1 Jahr	30. Lebens- Jahr	60. Lebens- jahr
"Toleranzdosen" für mit Strahlen Beschäf- tigte						
Stand 1950 in ver- schiedenen Ländern						
Mutscheller (1925)						
Deutschland "somatisch"	0,25	1,25		62,5	625	2500
Deutschland "genetisch"	0,025	0,125		6,25	62,5	250
Großbritannien	0,1	0,5		25	250	1000
USA	0,1	0,6		30	300	1200
Schweden	0,01	0,06		3,0	30	120
ICRP-Empfehlungen und -Vorschläge						
1950 Beschäftigte	0,05	0,3		15	150	600
1953 Teile der Bevölke- rung	0,005	0,03		1,5	45	90
1956 Beschäftigte	0,05	0,3	3	5	50	200
1956 Teile der Bevölke- rung	0,005	0,03	0,3	0,5	15	30
1956 Gesamte Bevölkerung					10	
1957 Gesamte Bevölkerung	Verdoppelung der natürlichen Strahlenbelastung					
Natürliche Strahlenbelastung	0,0025			0,13	4	8

Es liegt der Tabelle die Annahme zugrunde, daß eine Beschäftigung im Alter von 20 Jahren beginnt.

England war das erste Land, das sich mit dem Problem des Strahlenschutzes vor Röntgen- und Radiumstrahlen organisatorisch befaßte. Es gibt jedoch keine, speziell die X-Strahlen betreffenden Gesetze, nur Empfehlungen auf freiwilliger Basis. Die führende Rolle einer staatlichen Kontrolle bei Erzeugung und

Verwendung von ionisierenden Strahlen spielt Schweden. Der Staat hat hier das Recht, Strahleneinrichtungen zu inspizieren, autorisiert dazu ist das "Radio-physics Institute of Stockholm". In den USA haben nur zwei Staaten bereits Strahlenschutzgesetze erlassen, sonst gibt es keine staatlichen Vorschriften, nur Richtlinien vom National Committee on Radiation Protection (GLOCKER 1951 (12), TAYLOR 1954, 1956, (81, 82)). In Deutschland wurde bereits 10 Jahre nach der Entdeckung der Röntgenstrahlen auf dem 1. Kongreß der Deutschen Röntgengesellschaft (DRG) im Jahre 1905 eine gesetzliche Regelung der Röntgenstrahlen-Anwendung gefordert. Doch erst in den zwanziger Jahren, nach schweren Schäden bei Ärzten, Physikern und Ingenieuren, gab die DRG zur Vermeidung künftigen Unheils Richtlinien für den Strahlenschutz in Form von "Merkblättern" heraus. Sie richtete eine Normenstelle ein, die einige Jahre später in einem Normblatt die ersten "Vorschriften für den Strahlenschutz in medizinischen Röntgenanlagen" aufstellte, untergeteilt in die einzelnen Röntgen-Fachgebiete. Sie befaßten sich mit den notwendigen Maßnahmen und Hilfsmitteln zum Schutze der Ärzte und des übrigen Personals sowie der Nachbarn von Röntgenbetrieben, und berücksichtigten bereits die Sekundärstrahlung. Auf die Konstruktion der Röntgenapparate wirkten sie befruchtend, und so konnten infolge des technischen Fortschritts bereits nach 3 1/2 Jahren, am 1. 7. 1933, geänderte Strahlenschutzvorschriften als Normblatt unter der Bezeichnung DIN ROENT 2/1933 (85) herauskommen. Eine weitere Neufassung gab es 1939, die Normen werden jetzt als "Regeln" bezeichnet (GRAF 1939)(13). Inzwischen war auf Grund der Reichs-Versicherungs-Ordnung (RVO) eine Berufsgenossenschaft für medizinische Betriebe gegründet worden, die die Vorschriften in ihre gesetzlich vorgeschriebenen Unfallverhütungsvorschriften (UVV) aufnahm. (GRAF, 1948)(14). Heute enthalten die DIN-Regeln Vorschriften für die Herstellung und Ausführung der technischen Mittel, die UVV solche für das Verhalten von Personen in Strahlenbetrieben. Die Aufstellung und Befolgung der Normen erfolgt ganz auf freiwilliger Grundlage (GRAF, 1955)(16). Auf den neuesten Stand gebracht werden sie von der Physikalisch-technischen Bundesanstalt (PTB), die sich auch auf Arbeiten der Deutschen Forschungsgemeinschaft stützt. Die Behörden, die außer der Berufsgenossenschaft für Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege noch berufen sind, im Sinne von Verwaltungsaufgaben für ausreichenden Strahlenschutz Sorge zu tragen, sind das örtliche Gesundheitsamt, das Bundesarbeitsministerium und das Bundesinnenministerium (LOSSEN, 1953)(39).

II. Strahlenbelastung der Gonaden in der Röntgendiagnostik

Die Röntgendiagnostik stellt mit 22 % der natürlichen Strahlenbelastung weit- aus den größten Anteil der zusätzlichen Belastung durch künstliche Einflüsse. Es gibt heute in zivilisierten Ländern kaum mehr einen Bewohner, der nicht schon irgendwann einmal mit Röntgenstrahlen in Berührung gekommen wäre, sei es beim Arzt, bei Reihendurchleuchtungen in den Schulen, oder beim Zahn- arzt. Die Diagnostik der modernen Medizin ist ohne Röntgenstrahlen gar nicht denkbar.

Sehr umfangreich ist deshalb bereits die Literatur über Meßergebnisse der Be- lastung bei Arzt, Personal und Patient. Dabei werden zwei hauptsächliche Meß- methoden erkennbar, die Methode der Filmschwärzung und die Verwendung von Kondensatorkammern.

Die Filmschwärzmethode für Strahlenschutzmessungen ist nicht neu, die wich- tigsten älteren Arbeiten sind die von FRIEDRICH (1914)(10), GLOCKER (1921), FRANKE (1928), BOUWERS (1930). Dabei wird immer auf die Schwierigkeit der Berücksichtigung der Wellenlängenabhängigkeit hingewiesen. Um die ge- naue Dosis ermitteln zu können, mit der der Film bestrahlt wurde, muß die Qualität der Strahlung bekannt sein. Heute kann sie durch Verwendung ver- schiedener Filter annähernd genau ermittelt werden (HASCHE, 1939 (20); LANGENDORFF u. M., 1952 (35); MAGILL, 1954 (43); SOMMERMEYER u. HEINER, 1955 (77); DRESEL, 1956 (7)).

Vorteile sind das leichte Tragen über lange Zeit, die Aussage über viele lange oder wenig kurze Belichtungszeiten, Unabhängigkeit von diffuser Streu- strahlung oder Bestrahlung von einem Brennfleck aus (LANGENDORFF u. M., 1952 (35)).

Nach dieser Methode werden hauptsächlich Überwachungen des Personals in medizinischen und technischen Betrieben durchgeführt. Um zu einer einheit- lichen Beurteilung der Filmschwärzung zu kommen, wurden zentrale Auswer- tungsstellen der Filmüberwachung in Freiburg bei Prof. LANGEN DORFF und in Erlangen bei Prof. WACHSMANN geschaffen. Beide Institute haben 1954 über die Ergebnisse aus der Auswertung von 6035 Filmplaketten berichtet (36).

Weitere Ergebnisse über Belastungen von Radiologen und Personal in Kranken- häusern und Instituten bei SCHEELE (1941)(63), DE AMICIS u. M. (1952)(5), PETROVIC (1956)(55), ARDRAN u. M. (1957)(1).

Die uns hier interessierenden Belastungen der Gonaden des Patienten wurden hauptsächlich mit Kondensatorkammern ermittelt. Diese Methode wurde von SIEVERT eingeführt und von ZIMMER verbessert, sie wird im experimentellen

Teil dieser Arbeit noch eingehend erläutert werden.

SEELENTAG u. M. (1958)(75) haben über die genetische Belastung durch die Röntgendiagnostik ausgedehnte Untersuchungen angestellt und außerdem einen vollständigen Überblick über die wichtigste Literatur dieses Gebietes gegeben.

Tabelle 16 zeigt die Seelentag'schen Untersuchungsergebnisse im Vergleich mit der Literatur.

nach SEELENTAG u. M. (75), gekürzt und abgeändert

		Lungen- aufnahme	Lungendurch- leuchtung	Abdomen-Über- sichtsaufnahme	Dickdarm - Kontrast	Magen- Darm	i. v. Pyelogramm
1 SEELENTAG u. M. 1957	M	0, 06	1, 12	63	290	19	280
	W	0, 11	1, 9	48	441	149	290
2 LAUCLIN u. PULLMAN 1956	M	1, 2	20	200	950	700	2000
	W	0, 3	15	500	2000	1050	1200
3 OSBORN u. SMITH 1956	M	0, 36	--	69	40	20	486
- Brit. Bericht -	W	0, 07	--	200	20	9	1290
4 ARDRAN u. CROOKS 1957(1)	M	0, 01	3, 0	0, 5 ^{x)}	6, 5	5, 05	0, 5 ^{x)}
	W	0, 02	3, 0	75	25	5, 05	95
5 HAMMER-JAKOBSON 1957	M	--	--	610	--	--	1383
	W	--	--	85	--	--	424
6 HELLRIEGEL 1956	M	--	12	--	1180	100	--
	W	--	40	--	8960	1050	--
7 KOLBOW 1940	M	--	--	--	--	--	--
	W	--	--	--	--	360	500
8 KOREN u. MAUDAL 1957	M	1	<1	10, 8	--	4, 9	--
	W	1, 0	1	44	--	219	--
9 MARTIN 1955	M	0, 3	--	--	--	130	140
	W	2, 0	--	--	--	520	250
10 STANFORD u. VANCE 1955(78)	M	0, 36	--	69	40	20	69
	W	0, 07	--	200	20	9	200
11 KÜHN 1941	M	--	--	--	412	21	--
	W	--	--	--	1039	216	--
12 WEENS u. M. 1954	M	--	--	--	420	200	--
	W	--	--	--	420	200	--
13 CLAYTON u. M. 1957	W	--	--	100	--	--	--
14 MARTIUS u. KRÖNING 1938(46)	W	--	--	--	--	--	--
15 PICKHAN 1936	W	--	--	--	--	--	--
16 BEWLEY u. M. 1957	W	--	--	--	--	--	--
17 DIETZ 1956	W	--	--	--	--	--	--
18 ZIMMER 1935	W	--	--	--	--	--	--
19 HOL u. KOREN 1955	M	--	--	--	--	--	170
	W	--	--	--	--	--	220
20 Inzwischen erschienene neue	M	--	--	1940	1050	6, 9	2630
Arbeit von H. MOHR 1958(49)	W	--	--	--	2380	40	955

x) mit Bleischutz der Hoden

Tabelle 16 (Fortsetzung)

		LWS 2 Ebenen	Becken	Hüfte	Kopf	Schulter, Oberarm	Knie, Unter- schenkel	Salpingo- graphie	Zahnstatus
1	M	44	370	--	1, 12	0, 7	2, 0	--	6, 5
	W	126	240	--	--	0, 28	2, 0	--	0, 28
2	M	4000	2000	--	0, 6	1, 0	--	--	80
	W	2000	1000	--	0, 2	0, 5	--	1000	20
3	M	129	1100	--	0, 8	0, 22	3, 5	--	4, 75
	W	713	210	--	0, 2	0, 03	0, 6	1700	0, 8
4	M	2, 75	20	--	--	--	2, 5	--	--
	W	365	80	--	--	--	0, 8	--	--
5	M	104	567	--	--	--	--	--	--
	W	222	70	--	--	--	--	906	--
6	M	--	--	--	--	--	--	--	--
	W	--	--	--	--	--	--	--	--
7	M	--	--	--	--	--	--	--	--
	W	--	50	--	--	--	--	--	--
8	M	--	3580	--	< 1	--	6	--	--
	W	--	96	--	< 1	--	< 1	--	--
9	M	33	600	--	0, 12	0, 7	--	--	--
	W	200	300	--	0, 6	3, 4	--	--	--
10	M	51	1100	--	0, 4	0, 22	13	--	3, 4
	W	312	210	--	0, 1	0, 03	0, 55	--	0, 6
11	M	--	--	--	--	--	--	--	--
	W	--	--	--	--	--	--	--	--
12	M	--	--	--	--	--	--	--	--
	W	--	--	--	--	--	--	--	--
13	W	--	--	--	--	--	--	2360	--
14	W	--	600	--	--	--	--	--	--
15	W	--	--	--	--	--	--	200	--
16	W	--	--	--	--	--	--	400	--
17	W	--	169	--	--	--	--	--	--
18	W	--	590	--	--	--	--	--	--
19	M	--	--	--	--	--	--	--	--
	W	--	--	--	--	--	--	--	--
20	M	195	1630	2654	0, 05	--	0, 30	--	--
	W	163	1180	354	--	--	0, 13	2350	--

STANFORD und VANCE (1955), auf die sich die Angaben des britischen Berichtes stützen, haben die Ovarialdosis bei Frauen durch Umrechnung aus der Oberflächendosis ermittelt.

Erwartungsgemäß ist die Dosis bei den Untersuchungen am höchsten, wo die Gonaden sich im Primärstrahlenkegel befinden. Sie ist deshalb bei Aufnahmen des Unterleibes bei Frauen wesentlich größer als bei Männern. Außerhalb des Primärstrahlenkegels fällt die Dosis gleich stark ab, sie zeigt dann eine Abhängigkeit von der Feldgröße.

Tabelle 17
nach MQHR (1958)(49)

LWS-Aufnahme, 62 kV, 250 mAs, FHA 100 cm

Feldgröße	Gon. Dos. in mr	
24 x 30	2,88	
15 x 40	5,15	
20 x 40	8,00	
30 x 40	10,5	Die Gonaden liegen außerhalb des Primär- strahlenkegels

LORENZ (1958)(41) fordert bei allen gonadenfernen Röntgenaufnahmen zusätzlich die Gonadenregion des Patienten mit einer Bleigummischürze zu bedecken, zur Verminderung der Streustrahlung vom Organismus durch Verringerung der Raumdosis und zur Abfangung der vor dem Eintritt in den Organismus bereits abgelenkten Sekundärstrahlung.

III. Strahlenbelastung der Gonaden in der Röntgen-Tiefentherapie

Angaben über die Gonadenbelastung des Patienten in der Therapie sind in der Literatur bis jetzt nur sehr spärlich vorhanden, und eine Anwendung der Ergebnisse auf die Gesamtpopulation hat noch keinerlei Berechtigung. Der bereits genannte Wert für die strahlentherapeutische Belastung der Bevölkerung in den USA von 8 % der natürlichen Grundstrahlen beruht lediglich auf einer groben Schätzung (47).

Für Dänemark schätzten PURSER und QVIST (1957)(60) als mittlere Gonadendosis 1 - 1,5 m reg pro Jahr je Kopf der Bevölkerung (reg = roentgen-equivalent-genetic = Gonadendosis in r multipliziert mit der Zahl der statistisch zu erwartenden Kinder). Als Grundlage dienten ihnen 700 Messungen in 4 Krankenhäusern bei Männern unter 50 und Frauen unter 40 Jahren im Rectum oder am Skrotum.

Es ist ja hier so, daß die große Mehrzahl der Patienten wegen bösartiger Er-

krankungen behandelt wird und sich entweder wirklich oder praktisch jenseits des fortpflanzungsfähigen Alters befindet. Für die genetische Situation der Bevölkerung sind die Ergebnisse in der Tiefentherapie deshalb vielleicht nicht von der Bedeutung wie in der Diagnostik. Außerdem werden hier wegen der hohen Dosen stark ionisierender Strahlen alle einschlägigen Schutzmaßnahmen Beachtung finden.

KOREN und MAUDAL (1957)(34) machten Gonadenmessungen mit Kondensator-kammern an einem 70 kg schweren Phantom aus "Mix D", ein gewebequivalen-tes Material mit einer "Thoraxfüllung" aus Kork. Sie bestrahlten mit einem mo-deren Tiefentherapiegerät, 170 kV, 15 mA, 0,5 mm Cu-Filter, FHA 40 cm, Feldgröße 10 x 15 cm, Hautdosis 100 r. Als Gonadendosis ermittelten sie dabei:

Tabelle 18
(nach KOREN und MAUDAL)
Gonadendosis in mr

	weibl.	männl.	
Hüfte	3,900	7,300	liegend
Lumbo-sakral- Region	37,000	7,500	"
Knie	0,020	0,120	"
Brustwirbel	80	12	"
Schulter	24	14	"
Füße	19	70	"
Hände	85	160	sitzend, Hand auf Tisch

Sie empfehlen einen Bleischutz der Hoden.

LORENZ (1958) berichtet über intravaginale Messungen bei röntgen-bestrahlter Arthrose der Hüfte und LWS. Für 10 r OD bekam er als Gonadendosis in mr mit und ohne Bleiauflage auf Abdomen bzw. Gesäß (41).

Tabelle 19

	FHA 40 cm, 10 m A			
	190 kV		90 kV	
	HWS 0,9 mm Cu ohne Abd.	1 mm Pb, Abd.	HWS 0,1 mm Cu ohne Abd.	1 mm Pb-Abd.
Hüfte a. p.				
8 x 10 cm	322	318	125	125
6 x 8 cm	248	208	105	80
LWS p. a.				
10 x 15 cm	808	838	316	286

Auf Grund der Meßergebnisse wird diese Indikation bei gebärfähigen Frauen abgelehnt, ebenso auf das entschiedenste eine funktionelle Therapie mit Röntgenbestrahlungen der Ovarien.

Der gleichen Ansicht waren bereits vor 20 Jahren MARTIUS u. M. (1938)(46) und SCHUBERT (1942)(73).

Außerdem nennt LORENZ männliche Gonadendosen bei Röntgentiefentherapie der oberen Extremitäten im Sitzen (Tabelle 20).

Tabelle 20

(nach LORENZ)

OD 100 r, der Abstand Tubusrand-Genitale beträgt 65 cm

Feldgröße	ohne Schürze	0,2 mm Pb- Gummischürze	0,5 mm Pb- Gummischürze
6 x 8 cm	49 mr	27 mr	16 mr
8 x 10 "	59 mr	38 mr	22 mr
10 x 15 "	104 mr	43 mr	28 mr

LEPPER (1950)(37) konnte bei Strahlenschutzmessungen über 20 Tage an der Inguinalgegend der Assistentinnen feststellen, daß hier die Dosis unter 20 mr pro Tag blieb. Bestrahlt wurde mit zwei Siemens-Stabilivolt-Vollschutzgeräten (185 kV, 10 mA, 0,5 mm Cu-Filter) und einer Holfelderkanone (180 kV, 6 mA, 0,5 mm Cu-Filter).

Ergebnisse über Streustrahlenmessungen in Therapieinstituten an Assistentinnen und verschiedenen wichtigen Punkten des Bestrahlungs- und des Schaltraumes

wurden veröffentlicht von PETZOLD (1934)(56), HEISE (1935)(21), HASCHE (1938)(19), WENK (1940)(90), SCHEELE u. M. (1941)(63), SAUPE (1942)(62), WAGNER (1954)(87).

IV. Strahlenbelastung der Gonaden in der Oberflächentherapie

In der Oberflächentherapie berichteten lediglich WITTEN u. M. (1957)(92) über einige wenige Gonadenmessungen bei der Bestrahlung von Akne vulgaris, Hidradenitis, Psoriasis etc. Bei 16 Patienten erkundeten sie mit 2 Keleket-Dosimetern Modell K-112 die Streu- und Rückstrahldosis in der Nähe der Gonaden, bei Frauen lateral des Lumbosakralgelenks oder im Schoß. Es wurden bei der Bestrahlung von zusammen 85 - 510 r in einer Sitzung bei einer Strahlenqualität von 0,9 mm Al HWS 2-196 mr gemessen. Durch weitere 71 Dosismessungen an den Gonaden von 34 Patienten konnten sie zeigen, daß die Dosis, die die Gonaden erreicht, abhängig ist vom Abstand Röhre-Gonaden, vom Neigungswinkel der Röhre zur Lage der Gonaden, von der Lage des Patienten, von Streustrahlungen verschiedenster Art. Sie fordern höchstmöglichen direkten Schutz der Gonaden während der Behandlung, da es möglich ist, daß bei einer einzigen Röntgen-Therapiebestrahlung in der Dermatologie die maximal zulässige Populationsdosis für 1 Jahr überschritten wird.

JANSEN und CURTIS (1956)(30) führten nach der Filmschwärzmethode 3 1/2 Jahre lang Streustrahlenschutzmessungen an Ärzten und Personal einer dermatologischen Klinik durch. Von 462 ausgewerteten Filmen war nur einer infolge Unachtsamkeit mit mehr als 0,3 r/Woche belastet.

Messungen von DOMONKOS und CAMERON (1957)(6) nach der gleichen Methode in einer dermatologischen Praxis brachten das Ergebnis, daß auch hier die Toleranzdosis für Arzt und Personal nicht überschritten wurde.

Die ersten Streustrahlenmessungen an Nahbestrahlungsröhren führte OESER (1941)(54) mit einem Zählrohrgerät durch. Er bestrahlte ein Paraffinblock-Phantom mit einer Metalix-Röhre der Firma C. H. F. Müller (50 kV, 2 mA, 0,2 mm Al Filter, FHA 3,8 cm, Feldgröße 3 cm) und einer Chaoul-Röhre der Firma Siemens u. Reiniger (59 kV, 4 mA, 0,2 mm Cu Filter, 3 und 5 cm FHA, Feldgröße 25 und 45 mm). Es wurden direkt an den Seitenflächen des Phantoms bei der Chaoulröhre 2,1 r/Min und bei der Metalixröhre 6,5 r/Min gemessen. In 2 m Entfernung vom Phantom 0,002 r/Min bei der Chaoulröhre und 0,01 r/Min bei der Metalixröhre. Die Umgebung der Nahbestrahlungsröhre ist in Bezug auf den Strahlenschutz wie eine Tiefentherapieröhre zu behandeln. Das Personal

am Schalttisch soll durch eine Schutzwand von 1 mm Bleiwert gesichert werden.

SCHIRREN (1953)(64) unternahm Strahlenschutzmessungen an der Chaoul-Röhre (60 kV, 8 mA, 0,2 mm Cu Filter, FHA 5 cm) und am Dermopangerät der Firma Siemens u. Reiniger (29-50 kV, 0,29-1,0 mm Al Filter). Dabei ergab bei lotrechter Einstellung des Zentralstrahles auf den Patienten die frei im Raum gemessene Streustrahlendosis bei der Chaoulröhre in jeder Entfernung einen höheren Wert als beim Dermopan. Eine Feldabgrenzung durch eine 1,5 cm breite Bleifolie reduziert den Wert beim Chaoul auf 1/4, beim Dermopan auf 1/7 und mehr. Bei der Dermopanbestrahlung ohne Tubus konnte bei lotrechtem Zentralstrahl und einem FHA von 30 cm erst in 7 m Entfernung keine Dosisleistung mehr gemessen werden! Der Zentralstrahl darf außerdem nie zum Schalttisch geneigt sein. Bei 20° Neigung zum Schalttisch wurden hinter der Bleiglasscheibe 2,0 μ r/sec, bei 70° Neigung gar 70,0 μ r/sec gemessen.

B) EIGENE UNTERSUCHUNGEN ZUR FRAGE DER STRAHLENBELASTUNG DER GONADEN DES PATIENTEN BEI DER DURCHFÜHRUNG EINER HAUTRÖNTGENTHERAPIE

I. Allgemeine Betrachtungen über Röntgenstrahlen und die in der dermatologischen Röntgentherapie üblichen Strah- lenqualitäten

Röntgenstrahlen entstehen u. a. überall da, wo in Bewegung befindliche Elektro-
nen abgebremst werden, z. B. in der Röntgenröhre. Sie wurden 1895 von Wilhelm
Konrad v. Röntgen entdeckt und von ihm selbst zunächst als X-Strahlen bezeich-
net.

Praktisch für medizinische Zwecke verwendbare Röntgenstrahlen werden erzeugt,
wenn folgende 3 Umstände zusammenwirken:

1. Das Vorhandensein von freien oder nur mehr wenig gebundenen Elektronen.
2. Kräfte, die diese Elektronen stark beschleunigen, und
3. Vorrichtungen, die es ermöglichen, diese stark beschleunigten Elektronen,
den Elektronenstrom, abzubremsen.

Bei den neuzeitlichen Röntgenröhren werden die Elektronen, die zur Erzeugung der
Röntgenstrahlen notwendig sind, durch einen Glühvorgang gebildet. Eine Glüh-
spirale, die in ein praktisch luftleeres Glasgefäß eingebaut ist, wird durch eine
besondere Stromquelle, den Heizstrom, auf Weißglut (etwa 2000°C) gebracht.
Durch dieses Glühen treten aus dem Draht (Wolfram) freie Elektronen aus. Sie
werden von dieser negativen Kathode abgestoßen und bewegen sich mit großer
Beschleunigung zu der mit dem positiven Pol verbundenen gegenüberliegenden
Anode, auch Antikathode oder Röntgenanode genannt. Dort wird die Bewegungs-
energie des Elektronenstroms durch ein Metallblättchen abgebremst, und durch
diesen Bremsvorgang zu ungefähr 99,9 % in Licht und Wärme und zu ungefähr
0,1 % in die neue Strahlung, die Röntgenstrahlung, verwandelt, die sich grad-
linig von dem Brennpunkt aus nach allen Seiten verteilt. Dabei gilt allgemein:

1. Je größer die Menge der in dem Elektronenstrom fortbewegten Elektronen
ist, um so größer ist die Menge (Intensität, Quantität) der entstehenden
Röntgenstrahlen. Man kann also die Quantität in der Zeiteinheit durch Än-
derung der Heizstromstärke (mA) - die Glut des Glühdrahtes verändert sich -
variieren. (Außerdem noch durch Vergrößerung des Glühdrahtes.)
2. Je größer die Geschwindigkeit der bewegten Elektronen ist, d. h. je höher die
zwischen Anode und Kathode wirksame Spannung ist, um so kurzwelliger, här-
ter und durchdringender ist die entstehende Röntgenstrahlung.

Diese Röntgenstrahlung ist aber keine homogene Strahlung, sondern ein inhomogenes Strahlungsgemisch von lang- und kurzwelligen Strahlen. Beim Durchtritt durch jede Materie geht ein Teil des langwelligen Anteils der Strahlung verloren und zwar um so mehr, je größer das Atomgewicht und die Dicke der durchstrahlten Materie ist. Die Strahlung wird durch den Verlust des langwelligen Anteils homogener, die Qualität der Strahlung also kürzer, härter, durchdringender. Man kann also die Qualität der Strahlung außer durch die Veränderung der Spannung auch noch durch Zwischenschaltung verschiedener Filter (Cellon, Aluminium, Kupfer, Blei) oder durch Vergrößerung des Abstandes Röhre-Be-strahlungsfeld ändern.

Durch diese Filterung wird aber, da ja ein Teil der Strahlung verloren geht, zugleich die Quantität der Strahlung geringer. Diejenige Filterung nun, die die Quantität einer Strahlung, die Dosis, gemessen in "Röntgen" (r), auf die Hälfte reduziert, wird als Halbwertschicht (HWS) der betreffenden Strahlung bezeichnet. Damit kann indirekt, über eine quantitative Methode, die Qualität der Strahlung bestimmt werden, denn je weicher oder härter die Ausgangsstrahlung ist, desto geringer oder stärker muß das benötigte Filter sein.

Die Qualität der Strahlung wird also durch die HWS (z.B. 1,0 mm Al, 0,5 mm Cu) ausgedrückt.

Die Quantität der Strahlung wird in "Röntgen" (r) angegeben.

Für die Therapie mit Röntgenstrahlen kommen je nach Art und Körpertiefe der Erkrankung verschiedene Qualitäten zur Anwendung.

Grenzstrahltherapie

Therapie mit sehr weichen Röntgenstrahlen mit besonderer Apparatur
(4 - 12 kV)

Weichstrahltherapie (seit ca. 5 Jahren)

(13 - 50 kV)

"Oberflächentherapie" (im früheren Sinne)

(50 - 90 kV) ohne oder mit schwachen Filtern für Hauterkrankungen.

Halbtiefentherapie

(120 kV, 2-3 mm Al-Filter)

Nahbestrahlung (Chaoul, Schäfer, Witte)

Kontaktstrahlung (60 kV, 0,2 mm Cu-Filter, 4 - 8 mA)

Tiefentherapie

(180 - 220 kV, 0,5 - 2 mm Cu Filter)

Aus dieser Aufstellung geht hervor, daß das Spannungsintervall zwischen 13 und 50 kV früher nicht ausgenützt wurde, obwohl diese Qualität wegen ihrer geringen Tiefenwirkung für eine Röntgenhauttherapie ideal wäre. Schuld daran war die starke Eigenfilterung des Strahlenaustrittsfensters der älteren Röhrentypen. Erst durch das von den Amerikanern 1943 gefundene Berylliumfenster (Eigenfilterung etwa 0,02 mm Al) war es möglich, bei so weichen Qualitäten die nötige Dosisleistung an das Bestrahlungsfeld zu bringen. SCHIRREN (1954) hat sich eingehend mit der Erprobung des von der Firma Siemens-Reiniger Erlangen hergestellten Weichstrahlgerätes "Dermopan" mit Berylliumfensterröhre für die Röntgenhauttherapie befaßt (65, 66).

In der Strahlenabteilung der Dermatologischen Klinik der Universität München wird zur Therapie fast ausschließlich das Dermopangerät verwendet. Dementsprechend wurden meine Untersuchungsergebnisse hauptsächlich bei der Bestrahlung mit diesem Gerät gewonnen. Ich möchte deshalb darüber einige nähere Angaben machen, die wir SCHIRREN (1955) entnehmen (66):

"Bei dem Dermopangerät handelt es sich um einen Halbwellenröntgenapparat mit einem Selengleichrichter, der Röntgenröhrenströme von 25 mA bei 4 fest eingestellten Schaltstufen zwischen 10 und 50 kV liefert. Zu jeder mit dem Betriebswahlschalter eingeschalteten Spannungsstufe gehört ein entsprechendes Filter, das in Form eines Revolverrings vor dem Strahlenaustrittsfenster gelegen ist. Durch die in der Röhrenhaube liegenden Filtersicherungskontakte werden Filterfehler unmöglich gemacht. Ist bei einer bestimmten Spannungsstufe das nicht dazugehörige Filter vor dem Strahlenaustrittsfenster, so bleibt das Filtersicherungsrelais stromlos. Damit kann die Hochspannung auch bei Betätigung des Betriebsschalters nicht eingeschaltet werden." Diese automatische Filtersicherung ist bei häufigem Gebrauch des Gerätes unerläßlich, denn durch die große Dosisleistung einer berylliumgefensterten Röntgenröhre könnte die irrtümliche Verwendung eines falschen Filters schlimme Folgen haben.

Technische Bedingungen der benutzten Dermopangeräte

1. Dermopan I (Nr. 491/1083, Röhre Vs 733)

Tabelle 21

Schaltstufe	kV	mA	Filter	HWS	GHWT in mm
I	14,5	25	∅	0,6 mm Cellon	0,6 - 1,0
II	29	25	0,4 mm Al	0,3 mm Al	3 - 4
III	43	25	0,7 " "	0,6 mm "	7 - 8
IV	50	25	1,0 " "	0,9 " "	10 - 12
V	50	25	2,0 " "	1,4 " "	12 - 18

Zur Begrenzung der Bestrahlungsfelder sind dem Gerät verschiedene Tubusse beigegeben. Bei den Untersuchungen im Rahmen dieser Arbeit fanden folgende davon Verwendung:

1. FHA 30 cm, runder Tubus, Felddurchmesser 15 cm
2. FHA 30 cm, viereckiger Tubus, Feldgröße 20 x 20 cm²
3. FHA 15 cm, runde Tubusse aus Bleiglas mit verschiedenen Felddurchmessern:

Tubus 1 =	Felddurchmesser 1 cm
" 2 =	" 2 cm
" 3 =	" 3 cm
" 4 =	" 4 cm

Tabelle 22
Dosisleistungen des Gerätes

	FHA 30 cm ohne Tubus	FHA 15 cm Tubus 4
Stufe I	251 r/Min	1322 r/Min
" II	102 "	467 "
" III	98 "	433 "
" IV	94 "	388 "
" V	49 "	182 "

2. Dermopan II
(Nr. 491/1170, Röhre S/254)

Dieses Gerät wurde ausschließlich zur Fernbestrahlung benutzt. Dabei waren die technischen Bedingungen: 50 kV, 25 mA, $\emptyset$ Filter, FHA 2m, Gewebshalbwerttiefe 1,9 mm Cellon.

Die Dosisleistung betrug unter diesen Bedingungen 20 r/Min. bei FHA 2 m. Es ist erwähnenswert, daß in 50 m Entfernung bei horizontalem Strahlengang noch eine Dosisleistung von 1 μ r/sec gemessen wurde.

Verteilung der Dosisleistung: Bei einem 1,70 m großen Patienten in 2 m Entfernung erreichen, wenn der Zentralstrahl zwischen Nabel und Symphyse eingestellt ist, die Brust 90 %, das Gesicht 80 % und den Scheitel 70 % der Dosisleistung.

II. Technik der Messungen

Die Aufgabenstellung dieser Arbeit war, unter den Bedingungen in der Strahlentherapieabteilung der Universitäts-Hautklinik in München einmal grundlegende Erkenntnisse über die Dosen zu gewinnen, die bei den in der Hautröntgentherapie üblichen Bestrahlungsarten an die Gonaden des Patienten gelangen und an Hand der Ergebnisse sich evtl. notwendig werdende zusätzliche Schutzmaßnahmen zu überlegen.

Als Meßverfahren wählten wir die Kondensatorkammermethode, wozu wir die Kondiometerkammern der PTW-Freiburg verwendeten.¹⁾

Die Vorteile der Kondensatorkammern bestehen darin, daß sie einmal völlige Unabhängigkeit vom Aufstellungsort des Meßgerätes gestatten. Ferner eignen sich die kleinen Kammern auch für Messungen in schwer zugänglichen Körperhöhlen. Es können innerhalb eines Bestrahlungsfeldes mehrere Meßkammern gleichzeitig der Strahlung ausgesetzt und dann nacheinander ausgemessen werden. Man kann also bei absolut gleichen Strahlungsbedingungen an beliebig vielen Punkten die Dosisverhältnisse feststellen. Der Nachteil der Kammern liegt darin, daß der Meßbereich der einzelnen Kammern eng begrenzt ist. Sie werden deshalb in verschiedenen Größen und für verschiedene Kapazitäten gebaut, je nachdem, welcher Dosisbetrag gemessen werden soll.

Tabelle 23
Empfindlichkeit der Kondensatorkammern

Form	Durchmesser	r/Skalenteil	Maximal meßbare Dosis
Zylinder	45 mm	0,1 Milli-röntgen	0,04 r
Zylinder	15 mm	1 "	0,4 r
Kugel	15 mm	7 "	3,1 r
Kugel	10 mm	15 "	6,7 r
Zylinder mit Membrane	6 mm	1,5 röntgen	670 r

1) An dieser Stelle möchten wir Herrn Dr. med. Walter Seelentag vom Institut für Röntgenologie und Physikalische Therapie der Universität München (Vorstand Prof. Dr. v. Braunbehrens) unseren allerherzlichsten Dank aussprechen. Er hat, bis wir unsere eigenen Kammern erhielten, uns in freundlicher Weise seine Kammern zur Verfügung gestellt und sie in mühevoller Arbeit auf unsere Strahlenqualitäten geeicht. Ohne ihn wäre die Fertigstellung der Arbeit in dieser Zeit nicht möglich gewesen.

Eine Meßkammer besteht aus einem strahlendurchlässigen Gehäuse und einer durch Bernstein isolierten Mittelelektrode. Diese Elektrode wird gegen das Gehäuse auf eine bestimmte Spannung aufgeladen. Ionisierende Strahlung macht die Luft in der Kammer leitend und bewirkt eine Verringerung der Spannung zwischen Mittelelektrode und Kammergehäuse, die der eingestrahlenen Dosis proportional ist.

Zum Aufladen und Messen der Kammern diene das Kondiometergerät der PTW-Freiburg. Es enthält in einem Blechgehäuse als wesentliche Bestandteile ein Drehblattelektrometer mit Lichtanzeige auf der oberen Skala und ein Spannbangalvanometer mit Lichtanzeige auf der unteren Skala. Links unterhalb dieser sind die Regelorgane für die Aufladung angeordnet, rechts diejenigen für die Messung der Entladung der Meßkammern. Rechts außen befindet sich ein Kästchen mit der Halterung zum Aufsetzen der Meßkammern zum Laden und Messen; der Vorgang wird durch Betätigung der "Ladetaste" bzw. der "Meßtaste" ausgelöst.

a) Kugel- und Zylinderkammern

Von den verschiedenen Arten der Kondensatorkammern verwendeten wir nur Zylinderkammern von 15 mm Durchmesser und Kugelkammern mit 10 mm und 15 mm Durchmesser

Eichwerte der Kugel- und Zylinderkammern in mr pro
Skalenteil bei Ladestufe I. Gültig für 720 mm Hg und 20° C

1. 29 verschiedene Zylinderkammern (15 mm) (von Dr. SEELENTAG)

Tabelle 24a

kV	mr/Skalenteil
29	1,81 - 2,01
43	1,66 - 2,00
50	1,52 - 1,69

2. Eigene Zylinderkammern (15 mm)

Tabelle 24b

Kammer-Nr.	20 kV	30 kV	43 kV	65 kV
2118	2,4	2,2	1,9	1,64
2183	2,8	2,6	2,2	1,90
2379	2,5	2,5	2,1	1,82
2389	2,9	2,6	2,2	1,93

mr pro
Skalenteil

3. Kugelkammern 15 mm Ø

Tabelle 24c

Kammer-Nr.	20 kV	30 kV	43 kV	65 kV	mr/Skalenteil
4078	12,6	11,3	9,7	8,3	
4082	12,2	10,9	9,4	7,9	
4083	13,2	11,8	10,0	8,7	
4087	13,2	12,0	10,2	8,7	

4. Kugelkammern 10 mm Ø

Tabelle 24d

Kammer-Nr.	29 kV	43 kV	50 kV	60/80 kV	mr/Skalenteil
6094	18,7	17,5	15,6	15,3	
6095	17,3	14,6	12,7	10,4	
6097	17,9	17,2	15,9	15,3	
6107	18,5	18,0	16,5	16,1	
6109	16,1	13,5	11,0	9,6	
6111	18,7	17,1	16,0	15,8	
6115	18,9	17,6	17,3	15,5	
6127	15,5	13,0	10,9	9,6	

Die Kammern wurden speziell auf die Qualitäten des Dermopangerätes geeicht. Für die Qualität der Strahlung, die die Gonaden erreicht, sind diese Eichwerte nicht ganz genau. Es handelt sich hier hauptsächlich um Streustrahlung, deren HWS vom Gewebe über den Gonaden abhängig ist. Die Dicke dieses "Körperfilters" wird durch die Körpermaße des Patienten bestimmt und ist deshalb sehr unterschiedlich. Da die Streustrahlung aber härter ist als die Primärstrahlung, gibt die Ausrechnung mit obengenannten Werten insofern Sicherheit, als die Ergebnisse eher um einige Prozent zu hoch als zu niedrig liegen.

Der Selbstablauf aller Kammern beträgt weniger als 1 Skalenteil pro Tag. Er kann hier vernachlässigt werden, da die Zeitspanne zwischen Aufladen und Ausmessen im Höchstfall 4 Stunden betrug.

b) Argonkammern

Für alle Messungen, bei denen ganz geringe Dosen zu erwarten waren, verwendeten wir argongefüllte Druckkammern aus Aluminium. Abhängigkeit von der Dosisleistung und Sättigungserscheinungen verhindern bei ihnen einen linearen,

der bestrahlten Dosis proportionalen Ablauf der Kammern. Es ergeben sich hier unterschiedliche Eichwerte nicht nur bei verschiedenen Strahlenqualitäten, sondern auch bei verschiedenen Dosisleistungen. Diese Werte steigen an mit zunehmender Entladung, um so mehr, je höher die Dosisleistungen sind (SEELTAG, 1958)(75). Die Eichung dieser Kammern auf die verschiedenen Qualitäten der Strahlung ist deshalb äußerst kompliziert, langwierig und kostspielig. Ein genauer Eichwert kann schon deshalb nicht angegeben werden, weil eine sichere Bestimmung der Dosisleistung am Lageort der Kammer gar nicht möglich ist. Aus der Kenntnis dieser Schwierigkeiten heraus wurden die Kammern, um alle evtl. weiteren Einflüsse auszuschalten, erst kurz vor der Bestrahlung aufgeladen und nachher sofort ausgemessen. Man kann unter diesen Umständen annehmen, daß die Fehlanzeige 15 % nicht übersteigt und diese kann hier bei den Argonkammern, wo es sich ohnehin nur um ganz geringe Dosen handelt, ruhig in Kauf genommen werden. Es ist nur darauf zu achten, daß aus Strahlenschutzgründen der wirkliche Wert auf keinen Fall höher sein kann als der gemessene.

Aufgeladen wurden die Kammern mit dem normalen Kondiometer, ohne das neu entwickelte Zusatzgerät für Argonkammern, das es gestattet, diesen Kammern eine größere Spannung zu geben, um die Sättigungserscheinungen weitgehend auszuschalten.

Tabelle 25

Eichwerte der Argonkammern zum Dermopan für eine Dosisleistung von max. 0,3 mr/sec in μ r/Skalenteil

Kammer-Nr.	Stufe II	Stufe III	Stufe IV	60 kV 2 mm Al-Fi
1 3102	5,5	4,8	4,3	3,1
2 3103	5,5	4,1	3,9	3,1
3 3104	5,5	4,3	3,4	3,0
4 3110	5,0	4,5	3,7	3,0
5 3122	5,5	4,2	4,5	3,1
6 3156	5,0	4,7	3,8	3,1
Mittelwert	5,53	4,43	3,94	3,1
7 3152	8,1	5,4	5,2	-

Die Kammern wurden bei einer maximalen Dosisleistung von 0,3 mr/sec geeicht.

Da die Unterschiede der einzelnen Eichwerte bei den Kammern 1-6 sich im Rahmen der vorher genannten erlaubten Abweichung bewegen, kann zur Ausrechnung ohne weiteres ein Mittelwert verwendet werden. Lediglich die Kammer Nr. 3152 zeigt eine andere Empfindlichkeit und wird deshalb selbständig berechnet.

4 weitere Kammern, Nr. 3214, 3218, 3222, 3223, waren für eine DL von 0,3 mr/sec nicht geeicht. Durch vergleichende Messungen mit den Kammern 1-6 wurden folgende Mittelwerte errechnet:

Stufe II: 5,83 Stufe III: 4,53 Stufe IV: 3,82 60 kV: 3,0

Aus diesen Werten wiederum der Durchschnitt mit den Mittelwerten von Tabelle 25 gezogen ergibt als endgültigen Mittelwert für alle Kammern bei einer DL von max. 0,3 mr/sec:

Stufe II: 5,58	Stufe III: 4,48	Stufe IV: 3,88	60 kV: 3,05
----------------	-----------------	----------------	-------------

Diese Dosisleistung wird bei den Messungen, bei denen wegen der zu erwartenden geringen Dosen (bis 0,5 mr max.) Argonkammern verwendet werden müssen, nicht überschritten. Sie ist im Gegenteil bei Nahbestrahlungen des Kopfes z.B. mindestens um eine Größenordnung kleiner. Hier wären die Eichwerte von der DL 0,3 mr/sec wesentlich zu hoch, was im Hinblick auf die Richtigkeit der Messungen auch nicht mehr durch den Vorrang des Gesichtspunktes "Strahlenschutz" zu verantworten ist. So wurden 4 Kammern für eine Dosisleistung von maximal 0,04 mr/sec genau geeicht.¹⁾

Tabelle 26
Eichwerte für eine DL von max. 0,04 mr/sec (µr/Skt.)

Kammer-Nr.	Stufe II	Stufe III	Stufe IV	60 kV
8 3214	2,42	1,88	1,74	1,67
9 3218	2,46	1,95	1,77	1,72
10 3222	2,46	2,01	1,85	1,78
11 3223	2,53	2,02	1,80	1,78
Mittelwert	2,46	1,98	1,79	

1) Diese Eichungen übernahm in dankenswerter Weise Herr Dr. Bunde von der Isotopenabteilung des Institutes für Physik, Ther. und Röntgenol. der Universität München (Direktor Prof. Dr. v. Braunbehrens).

Diese Eichwerte stimmen nur bis zu einem Ablauf von ungefähr 65 Skalenteilen. Bei weiterem Ablauf muß die Sättigung berücksichtigt oder von vornherein eine größere Dosisleistung angenommen werden. In beiden Fällen sind die Eichwerte zu klein.

Die Kammern 8 - 11 korrespondieren bei einer DL von 0,3 mr/sec mit denen der Kammern 1 - 6 ziemlich genau, deshalb kann der Mittelwert von Tabelle 26 auch auf die Kammern 1 - 6 übertragen werden.

Die endgültige Auswertung der Argonkammern wurde nach folgendem Schema vorgenommen:

Alle Kammern bis zu einem Ablauf von 65 Skalenteilen, wo eine ganz geringe Dosisleistung angenommen werden kann, wurden mit den Mittelwerten von Tabelle 26 ausgewertet.

Alle Kammern mit einem Ablauf von mehr als 65 Skalenteilen, wo eine größere Dosisleistung und Sättigung das Ergebnis beeinflusste, wurden mit den Mittelwerten für die DL von 0,3 mr/sec ausgewertet.

Da bei Bestrahlungen mit dem Monopangerät nur die Kammern Nr. 3222 und 3223 verwendet wurden, kann hier der richtige Eichwert aus der Tabelle genommen werden.

Tabelle 27

Eichwerte in μ r/Skt., mit denen die Auswertung der Argonkammern vorgenommen wurde

	Stufe II	Stufe III	Stufe IV	60 kV
Ablauf bis Skt. 65	2,46	1,98	1,79	1,78
Ablauf über Skt. 65	5,58	4,48	3,88	3,05

Der Selbstablauf der Kammern beträgt im Durchschnitt pro Stunde 0,536 Skalenteile. In den ersten 3 - 5 Stunden ist er allerdings fast doppelt so groß, um dann schließlich einen annähernd konstanten Wert anzunehmen. Er wurde in den seltenen Fällen, wo mehr als eine Stunde zwischen Aufladung und Bestrahlung verging, bei der Ausrechnung berücksichtigt.

Da die meisten Bestrahlungen an liegendem Patienten durchgeführt werden, war die Befestigung der Meßkammern kein Problem. Wir legten sie bei Män-

nen einfach dicht neben den Hoden. Saß oder stand der Patient, wurden die Kammern mit Leukoplast oder mit einer Mullbinde fixiert. Für die weiblichen Gonaden wählten wir wie SEELENTAG (1958)(75) das hintere seitliche Scheidengewölbe, das in ziemlich naher Lagebeziehung zu den Ovarien steht. Die Kammern wurden je in 2 gegenüber verknoteten Gummifingerlingen feuchtigkeitsdicht verpackt, mit einem langen Faden versehen und, nachdem sie mit Hilfe eines Spekulum an die richtige Stelle plaziert worden waren, durch einen Tampon vor einem Zurückgleiten gesichert. An der Fadenschlaufe konnten Tampon und Kammer wieder entfernt werden.¹⁾

c) Protokollierung

Um Verwechskungen vorzubeugen und eine sichere Auswertung zu gewährleisten, wurde jeder Kammer bereits beim Aufladen ein Protokollzettel mitgegeben, auf dem Kammernummer, Ladestufe und Uhrzeit der Aufladung angegeben waren. Während der Strahlenaussetzung der Kammer am Patienten wurden dann sofort die weiteren Angaben eingetragen.

Schema eines solchen Protokollzettels:

Kammer Nr....	Lade- Stufe	gelad. am ... gemess. am ...	DERMA
Name	Vorname	Alter	
.....			
Diagnose			
Lage d. Kammer			
App.	kV.	mA.	Zeit
mAs	TbØ	FHA	OD r
Meßwert:		O-Korr	
Eichw. für	kV		mr
.....	mr/Skt. I		mr/r
			mr/sec
			mr/mAs

1) Hier habe ich Frau Dr. med. Ruth Dittmar für die Übernahme der Kammerapplikationen bei den Patientinnen besonders zu danken.

Auf der Rückseite des Zettels war Raum für Bemerkungen, wie z.B. Bleiabdeckung, Lage des Patienten, Richtung des Zentralstrahls usw. Außerdem noch wurde jede Messung unter der laufenden Nummer in ein Protokollbuch eingetragen und diese Nummer dann auf dem Protokollzettel vermerkt.

III. Ergebnisse bei den einzelnen Bestrahlungsverfahren

Von 739 Einzelmessungen konnten 640 für den folgenden Bericht ausgewertet werden.

1. Entzündungsbestrahlung

Nach SCHIRREN (1954 (65), 1955 (67)) nimmt die Oberflächentherapie(Ekzembestrahlung) 80 % der Entzündungsbestrahlungen ein. Sie wird am besten mit einer Strahlenqualität bis 0,3 mm Al HWS durchgeführt, beim Dermopangerät entspricht dies der Schaltstufe II mit 29 kV, 25 mA, 0,4 mm Al Filter. Die restlichen 20 % entfallen auf die Bestrahlung von Abszessen und Forunkeln, also tiefer gelegenen Krankheitsprozessen. Hier wird wegen der nötigen größeren GHWT beim Dermopangerät die Schaltstufe V verwandt (50 kV, 25 mA, 2,0 mm Al Filter, HWS 1,4 mm Al).

Die Gesamtdosis betrug bei den meisten Fällen, die wir ausgemessen haben, im Durchschnitt 300 r OD, die bei der Ekzembestrahlung in Einzelfractionen von 100 r mit einwöchiger Pause verabreicht wurden. Wir haben deshalb die Gesamtbelastung in der Entzündungsbestrahlung immer auf 300 r bezogen.

a) Entzündungsbestrahlung der Extremitäten

α Ekzembestrahlung der Hände

Hier sitzt der Patient auf einem Stuhl, die Hand liegt vor ihm auf einem Tisch mit einer Bleiplatte. Der Tubus wird lotrecht auf die Hand eingestellt. Die Entfernung Tubusrand - Gonaden differiert stark nach den Körpermaßen des Patienten.

Tabelle 28

Männliche Gonadendosis bei der Ekzembestrahlung der Hände
DERMOPAN Stufe II, FHA 30 cm, viereckiger oder runder Tubus
gemessen mit Zylinder- und Argonkammern

	Anzahl	mr/r	r /300 r
Ohne Gonadenschutz	6	33,3 (12,5 - 75,5)	9,99
Bleigummi üb. Genitale	3	0,095 (0,019 - 0,185)	0,029

Wenn die Gonadenregion im Schoß des Patienten zusätzlich mit Bleigummi bedeckt wird, vermindert sich die Dosis auf 0,3 % der Dosis ohne Abdeckung.

Die eingeklammerten Zahlen nennen die jeweils gemessenen Tiefst- und Höchstwerte.

Bestrahlung von Schweißdrüsen-Abszessen der Achselhöhle

Der Patient liegt mit dem Rücken auf dem Bestrahlungstisch, die Hand unter dem Kopf, der Tubus zeigt direkt in die so geöffnete Achselhöhle. Der Kopf wird mit Bleigummi geschützt.

Tabelle 29

Männliche Gonadendosis bei der Bestrahlung von Schweißdrüsenabszessen in der Achselhöhle. DERMOPAN, FHA 30 cm, runder Tubus, Argonkammern

	Anzahl	mr/r	mr/300r
Stufe II	3	0,181	0,055
Stufe IV	2	1,805	0,541
Stufe V	4	4,390	1,315

Die Dosis steigt von Stufe II bis Stufe IV um das 24-fache.

Ekzembestrahlung von Ober- und Unterschenkel

Der Patient sitzt oder liegt auf dem Bestrahlungstisch.

Tabelle 30

Männliche Gonadendosis bei der Bestrahlung von Ekzemen an Ober- und Unterschenkel. DERMOPAN Stufe II, FHA 30 cm, viereckiger Tubus

	Anzahl	mr/r	r /300 r
Oberschenkel ohne Bleischutz	2	3,65 (1,19 - 6,11)	1,095
Bleigummiabdeckung	2	1,042 (0,873-1,21)	0,313
Unterschenkel ohne Bleischutz	3	0,2 (0,116 - 0,342)	0,06

Bei den hier bestrahlten Oberschenkelekzemen handelte es sich um Hauterkrankungen an der Innenseite des Oberschenkels, wo also der Bestrahlungstubus das Skrotum fast berührte. Durch Dazwischenlegen eines Bleigummis wird die Dosis um 71,5 % gesenkt.

b) Bestrahlung der Genital- und Analregion

⌘) Bestrahlung von Analekzemen bei Männern

Die Patienten befinden sich in Ellbogen-Knie-Lage auf dem Bestrahlungstisch. Die hintere Seite der Oberschenkel wird bis nahe an den Anus mit Bleigummi abgedeckt, so daß das herabhängende Skrotum von direktem Strahlengang durch den Bleigummi geschützt ist. Der Tubus wird horizontal auf den Anus gerichtet. Dies ist die normale Einstellung bei der Bestrahlung von Analekzemen.

Die Dosis, die dabei an die Gonaden gelangt, ist aber noch ziemlich hoch. Um die Testes noch weiter zu schützen, haben wir einen ganz einfachen Bleibeutel konstruiert, der ohne weiteres selbst hergestellt werden kann. Aus einem Bleiblech werden 2 Stücke in Schildform ausgeschnitten, eines etwas kleiner als das andere, aufeinandergelegt, am gekrümmten Rand doppelt gefalzt und mit dem Hammer festgeklopft. Dann wird das Ganze am oberen nicht vereinigten Rand auseinandergebogen und wir haben einen Beutel aus Bleiblech. Penis und Skrotum werden in ihm versenkt und dann wird der Bleibeutel mit einer an ihm angebrachten Schnur über dem Rücken festgeknüpft. Dieser Beutel erfüllt den gleichen Zweck wie die von LORENZ (1958)

(41) angegebene Scharnier-Bleikapsel nach Köttgen und Hartung, ist aber wesentlich einfacher herzustellen.

Tabelle 31

Männliche Gonadendosis bei der Bestrahlung von Analekzemen.
DERMOPAN, FHA 30 cm, runder Tubus, Zylinder- und Kugelmammern.

	Anzahl	mr/r	mr/300 r
Normale Bleigummiabdeckung			
Stufe II	5	0,49 (0,039 - 1,09)	147
Stufe IV	(5)	>2,85	>860
Schutz der Gonaden durch einen Bleibeutel			
Stufe II	(3)	<0,02	<6,0
Stufe IV	2	0,32 (0,28 - 0,36)	96,0

Die eingeklammerte Anzahl besagt, daß es sich hier um keine genauen Meßwerte handelt. Die Kondensatorkammern wurden mit Dosen bestrahlt, die entweder über oder unter ihrem Meßbereich lagen. Der Wert > 2,85 bedeutet, daß hier die eigentliche Gonadendosis bestimmt über 2,85 mr/r liegt, während der Wert < 0,02 aussagt, daß hier die Gonadendosis mit Sicherheit weniger als 0,02 mr/r ausmacht.

β) Bestrahlung der Genital- und Analregion bei Frauen

Die Patientinnen, die wegen eines Genital- oder Analekzems in Behandlung waren, wurden, außer der normalen Therapie mit Dermopan Stufe II, noch mit geringen Dosen härterer Qualitäten bestrahlt. Die Ergebnisse sind zum Vergleich sehr interessant.

Tabelle 32

Weibliche Gonadendosis bei Bestrahlung des Unterbauches.
DERMOPAN, FHA 30 cm, viereckiger oder runder Tubus.

Stufe	rOD	An- zahl	mr/Bestrahlung	mr/r	r/300 r
II	50	2	84, 75 (67, 5 - 102, 0)	2, 478	0, 745
II	100	2	325 (238 - 412)		
III	10	1	132	13, 2	3, 96
IV	10	3	169, 3 (91, 8-251)	16, 93	5, 08
V	10	2	312 (229 - 395)	31, 2	9, 36

Bei der Bestrahlung des Unterbauches, der bei einer Genitalbestrahlung mit dem viereckigen Tubus noch erfaßt wird, liegen die Ovarien im primären Strahlenkegel.

Tabelle 32a

Weibliche Gonadendosis bei Bestrahlung der Vulvae.
DERMOPAN, FHA 30 cm, runder Tubus.

Stufe	rOD	An- zahl	mr/Bestrahlung	mr/r	r/300 r
II	50	9	298, 5 (108 - 505)	5, 97	1, 79
IV	10	4	549, 5 (457 - 685)	54, 95	16, 46

Tabelle 32b

Weibliche Gonadendosis bei der Bestrahlung des Anus.
Patientin in Ellbogen-Knie-Lage.
DERMOPAN, FHA 30 cm, runder Tubus.

Stufe	rOD	An- zahl	mr/Bestrahlung	mr/r	r/300 r
II	50	5	453, 6 (110-810)	9, 07	2, 72
IV	10	3	567 (547 - 592)	56, 7	17, 02

Aus den letzten 3 Tabellen geht hervor, daß diese Art der Bestrahlung mit einer härteren Qualität als 0, 3 mm Al HWS bei gebärfähigen Frauen unbedingt abzulehnen ist.

2. Röntgen-Fernbestrahlung der Haut

Röntgenfernbestrahlungen der Haut (SCHIRREN, 1955, 1958) führen wir durch mit dem Dermopangerät, 50 kV, 25 mA, ohne Filter, FHA 2 m. Die Dosisleistung beträgt in 2 m Entfernung 20 r/Min. Die Gewebshalbwerttiefe ist 2 mm.

Fernbestrahlt werden:

1. Gen. Ekzeme, Lichen ruber gen., Erythrodormien.
Einzeldosis 50 r, dreimal in der Woche, Gesamtdosis: 300 - 600 r.
2. Generalisierte Reticulumzellsarkomatosen, Gen. Mycosis fungoides.
Einzeldosis täglich 80 - 100 r, Gesamtdosis: 100 - 1500 r, laufend Blutbildkontrollen (SCHIRREN, 1955 (68)).

a) Männer

Die Gonaden werden dabei durch Bleischilder oder durch einen Bleibeutel (Seite 45) geschützt. Tabelle 33 zeigt die unterschiedlichen Ergebnisse bei Bestrahlung der Vorder- und Rückseite unter Verwendung der verschiedenen Schutzmittel.

Die Augenlinse schützt eine Bleibrille.

Tabelle 33

Gonadendosis in mr/r bei Fernbestrahlungen an Männern.

DERMOPAN, 50 kV, 25 mA, Ø Filter, FHA 2 m, GHWT 2 mm

		An- zahl	mr/r r/1000 r
Bleischild (1 mm) vor Genitale	V	7	4,52 (2,81 - 7,95)
Bleischild (1 mm) am Gesäß in Höhe des Genitale	R	7	3,53 (3,1 - 4,38)
Bleischild (1 mm) vor Genitale	R	9	3,305 (1,68 - 6,0)
2 Bleischilder am Gesäß und vor Genitale	R	11	1,736 (0,83 - 3,18)
Bleibeutel (0,5 bzw. 1,0 mm)	V	25	0,075 (0,027 - 0,282)

V = Bestrahlung der Vorderseite

R = Bestrahlung der Rückseite

Durch die Verwendung eines Bleibeutels wird die Dosis, die bei Schutz der Gonaden durch ein Bleischild ermittelt wurde, um weitere 98,32 % reduziert.

Zu den Ergebnissen von Tabelle 33 ist noch folgendes zu sagen: Wir haben mit den einzelnen Bleischutzgeräten Leerbestrahlungen durchgeführt, um ihren reinen Schutzwert ohne andere Einflüsse zu prüfen. Es wurde das Bleischutzschild in 2 m Abstand von der Röhre in den direkten Strahlengang gebracht, die hinter ihr befestigten Meßkammern ergaben in 5 Messungen einen Durchschnittswert von 6,5 mr/r. Unsere Bleibeutel in gleicher Weise der Strahlung ausgesetzt ergaben, wenn sie ganz zusammengedrückt waren, in ihrem Inneren bei 16 Messungen eine Dosis von 7,0 mr/r.

Ein würfelförmiger Bleikasten mit 15 cm Seitenlänge und 15 mm dicker Bleiwand wurde 24mal bestrahlt und dabei in ihm noch eine durchschnittliche Dosis von 0,65 mr/r gemessen. Man kann also sagen, daß die von uns verwendeten Bleibeutel einen wirklich optimalen Strahlenschutz für die männlichen Gonaden darstellen, denn selbst durch eine 15 mm starke Bleiwand kommen bei der Fernbestrahlung pro r noch 0,65 mr hindurch, und es ist außerdem vollkommen illusorisch, einen etwa 20 kg schweren Bleisack über das Skrotum zu binden.

b) Frauen

Die Ovarienregion wird mit einem Bleischild bedeckt. Bei der Bestrahlung der Rückseite wird das Bleischild über dem Gesäß in Höhe der Ovarien angebracht. Um zu sehen, wie weit überhaupt die primäre und sekundäre (Rückstreuung von der nahen Wand) Strahlenwirkung von außen abgehalten werden kann, haben wir einige Vergleichsmessungen an Patientinnen durchgeführt, die einen 20 cm breiten eng um den Unterleib anmodellierten Bleirock trugen. Die Ergebnisse zeigen, daß die Dosis gegenüber der Gonadendosis bei Verwendung eines Bleischildes nicht wesentlich absinkt.

Tabelle 34

Gonadendosis in mr/r bei Fernbestrahlungen an Frauen.

DERMOPAN, 50 kV, 25 mA, Ø Filter, FHA 2 m, GHWT 2 mm.

Gemessen mit Kugel- und Zylinderkammern, die im hinteren Scheidengewölbe seitlich von der Portio uteri untergebracht

waren.

V = Bestrahlung der Vorderseite

R = " " Rückseite

		An- zahl	mr/r $\bar{r}/1000r$		
ohne Bleischutz	V	5	4,434 (3,94 - 5,37)	100%	100%
	R	6	11,33 (5,25 - 17,7)		
1 Bleischild (1 mm)	V	5	0,579 (0,523 - 0,645)	13,02%	7,2%
	R	6	0,815 (0,60 - 1,12)		
2 Bleischilder vorne u. hinten	V	2	0,386 (0,35 - 0,422)	8,7%	3,98%
	R	3	0,452 (0,272 - 0,572)		
Bleirock (0,5 mm) 20 cm breit	V	3	0,27 (0,208 - 0,327)	6,1%	2,77%
	R	2	0,314 (0,234 - 0,393)		

Die Ausrechnung der Ergebnisse wurde trotz der Schaltstufe IV (50 kV) aus Sicherheitsgründen mit den Eichwerten der Kammern für Stufe II vorgenommen. Die Strahlenqualität ist ja hier wesentlich weicher, da ohne Filter bestrahlt wird. Die Luftfilterung beträgt um etwa 0,2 mm Al. Beim Durchtritt durch die Bleischuttschilder wird die Strahlung zwar aufgehärtet, da aber keine genauen Angaben darüber vorhanden sind, geben wir unsere Ergebnisse lieber um einige % zu hoch an als evtl. zu niedrig.

3) Röntgentherapie gutartiger und bösartiger Hautgeschwülste

Den weitaus größten Anteil aller zu bestrahlenden Hauterkrankungen stellen die Hautkarzinome. Dabei ist es wichtig, daß die GHWT der Strahlung immer der Tiefenausdehnung des Tumors angeglichen wird. Dies gelingt beim Dermopangerät mit den verschiedenen Qualitäten der Schaltstufe I bis V vorzüglich. Nach einer statistischen Zusammenfassung von SCHIRREN (1955)(67) an einem zweijährigen Patientengut der Strahlentherapieabteilung der Universitätshautklinik in München ergibt die Einteilung aller Hautkarzinome nach verwendeten Strahlenqualitäten das Ergebnis von Tabelle 35.

Tabelle 35
(nach SCHIRREN)

Mit 88 % ist der Kopf der	Stufe I	4 %
Lieblingssitz der Haut-	" II	28 %
carcinome, und davon	" III	32 %
wiederum ist eine relativ	" IV	27 %
große Anzahl an den Lidern,	" V	9 %
am medialen Augenwinkel und		
in der Ohrgegend lokalisiert. Die restlichen 12 % verteilen sich auf den Rumpf und die Extremitäten.		

Die Größe der Hautkarzinomfelder ergibt folgendes Bild:

Tabelle 36
(nach SCHIRREN)

Den überwiegenden Anteil	1-2 cm Durchmesser	33 %
stellen also die kleinflächi-	3 cm "	36 %
gen Hautkarzinome. Sie wer-	4 cm "	19 %
den mit einem FHA von	5-20 cm "	12 %

15 cm mit Hilfe des Bleiglastubussatzes bestrahlt, und zwar mit durchschnittlichen Einzeldosen von 500 r OD und einer durchschnittlichen Gesamtdosis von 7000 r. Deshalb wurden auch unsere ermittelten Gonadendosiswerte immer auf 7000 r bezogen.

Die großflächigen Hautkarzinome werden mit FHA 30 cm und rundem oder viereckigem Tubus bestrahlt. Die Einzeldosen sind hier 200 - 350 r, die Gesamtdosis 6-7000 r.

Bei allen Bestrahlungen von Hauttumoren wurde das Tumorfeld durch eine mindestens 1,5 cm breite Bleifolie abgegrenzt. Dadurch wird erstens eine bessere Feldbegrenzung erreicht, zweitens die starke Streustrahlung um den Tubusrand abgefangen (SCHIRREN, 1953 (64)).

a) Bösartige Tumoren des Kopfes

Tabelle 37

Männliche Gonadendosis in $\mu\text{r/r}$ bei der Bestrahlung von klein-
flächigen Hautkarzinomen des Kopfes. DERMOPAN, FHA 15 cm,
Tubus 2, 3, 4, gemessen mit Argonkammern

	Auge		Nase		Wange		Oberlippe		Unterlippe		Gesamt	
	A	$\mu\text{r/r}$	A	$\mu\text{r/r}$	A	$\mu\text{r/r}$	A	$\mu\text{r/r}$	A	$\mu\text{r/r}$	A	$\mu\text{r/r}$
Stufe II	4	0,021 (0,015 0,025)	3	0,030 (0,010 0,074)	8	0,027 (0,012 0,074)	-	--	-	--	15	0,026
Stufe III	14	0,035 (0,010 0,076)	5	0,046 (0,019 0,087)	-	--	7	0,055 (0,039 0,071)	-	--	26	0,043
Stufe IV	5	0,037 (0,027 0,048)	6	0,096 (0,042 0,204)	3	0,084 (0,039 0,108)	-	--	-	--	14	0,067
Stufe V	4	0,121 (0,066 0,208)	-	--	-	--	-	--	14	0,330 (0,047 1,590)	18	0,273

A = Anzahl der ausgemessenen Bestrahlungen

Tabelle 37a bringt die Werte aus Tabelle 37 bezogen auf die durchschnittliche
Gesamtdosis von 7000 r.

Tabelle 37a

Gonadendosis in $\text{mr}/7000 \text{ r}$

	Auge	Wange	Nase	Oberlippe	Unterlippe	Gesamt
Stufe II	0,147	0,210	0,189	--	--	0,182 1/10
Stufe III	0,245	0,322	--	0,385	--	0,301 1/6
Stufe IV	0,259	0,672	0,588	--	--	0,469 1/4
Stufe V	0,847	--	--	--	2,310	1,911 1/1

Daraus geht hervor, daß die größte Belastung bei der Bestrahlung der Unterlippe erfolgt. Verantwortlich dafür ist die relativ harte Strahlung, die Feldgröße (4 cm Ø), und die Richtung des Zentralstrahls, der hier einen kleineren Winkel zu den Gonaden aufweist als bei den übrigen Lokalisationen. Sonst kann für die Lokalisation keine Abhängigkeit gefunden werden. Mit der Strahlenqualität steigt die Gonadendosis von Stufe II bis Stufe V ungefähr auf das 6-fache.

Tabelle 38

Männliche Gonadendosis bei der Bestrahlung von großflächigen Hautkarzinomen des Kopfes. DERMOPAN, FHA 30 cm, runder Tubus. Gemessen mit Argonkammern.

	Wange		Ohr		Gesamt	Wange		Ohr	Gesamt
	A	nr/r	A	nr/r	nr/r	nr	/	7000 r	
Stufe II	2	0,251 (0,032 0,470)	4	0,058 (0,037 0,070)	6 0,122	1,757		0,406	0,854
Stufe IV	2	1,140 (0,910 1,360)	7	0,089 (0,030 0,225)	9 0,322	7,980		0,623	2,254

Hier ist die Gonadendosis der Feldgröße und der stärkeren Streustrahlung entsprechend etwas größer.

Bei allen 73 ausgewerteten Fällen der Bestrahlung kleinflächiger Hautkarzinome des Kopfes ist der Gesamtdurchschnitt der Gonadendosis $0,104 \text{ nr/r}$ oder $0,728 \text{ mr/7000r}$, bei den 15 großflächigen beträgt er $0,242 \text{ nr/r}$ oder $1,694 \text{ mr/7000r}$. Der Durchschnittswert aus allen 88 Messungen bringt für Bestrahlungen von Hautkarzinomen des Kopfes $0,126 \text{ nr/r}$ oder $0,882 \text{ mr/7000r}$.

Diese Dosis entspricht ungefähr der natürlichen Strahlenbelastung von 2 Tagen, und ist weniger als 1/10 000stel der zulässigen genetischen Dosis für eine Gesamtbevölkerung in 30 Jahren.

In weiteren 8 Fällen wurde die Gonadenregion mit Bleigummi überdeckt. Die Dosis wurde dadurch soweit gesenkt, daß selbst die hochempfindlichen Argonkammern nicht mehr ansprachen.

Man kann sagen, daß hier die die Gonaden erreichende Dosis bestimmt weniger als $0,005 \text{ nr/r}$ beträgt, oder bei einer Bestrahlungsserie von 7000 r OD weniger als 0,035 mr ergibt. Diese Dosis ist erst recht vollkommen unbedeutend.

Dadurch ist außerdem bewiesen, daß bei Männern die Gonadendosis bei Gesichtsbestrahlungen nicht als Streustrahlung aus dem Körper aufzufassen ist, sondern von außen an die Gonaden gelangt, zumindest der überwiegende meßbare Anteil.

Vergleichende Messungen bei Frauen

Die Bestrahlung von kleinflächigen Gesichtstumoren mit DERMOPAN Stufe II bis IV, FHA 15 cm, Tubus 2-4 bringt an die Gonaden keine meßbare Dosis. 1,8 μ mr, die unterste Grenze der Empfindlichkeit der Argonkammern, wurden bei einer OD von 500 r nicht erreicht.

Bei der Bestrahlung großflächiger Hauttumoren der Wange wurde bei Männern mit 0,694 μ mr/r der höchste Gonadenwert aller Gesichtsbestrahlungen gemessen. Ein Vergleich an Frauen mit gleichen Tumorlokalisation ergibt bei DERMOPAN Stufe II - IV, FHA 30 cm, Feldgröße bis 12 cm, in 3 Fällen eine Gonadendosis von 0,039 μ mr/r (0,022-0,058) oder 0,273 mr/7000r. Die Dosis entspricht 1/18 des bei Männern gemessenen Wertes.

Die Bestrahlung der Unterlippe folgt bei Männern mit 0,33 μ mr/r als zweithöchster Wert (DERMOPAN St. V, FHA 15 cm, Feldgr. 3,5 cm).

In 9 Fällen wurde eine andere Einstellung gewählt und die Unterlippe mit einem FHA von 30 cm und einem felddnahen Tubusdurchmesser von 15 cm bestrahlt.

Bei Männern ergab dies bei DERMOPAN Stufe IV einen Wert von

0,113 μ mr/r (0,107 - 0,119)

und mit Bleigummiabdeckung der Gonadenregion

0,038 μ mr/r (0,030 - 0,046).

Das Feld ist hier außer der normalen Bleiabdeckung noch mit einem 20 cm breiten Rahmen aus Bleigummi abgegrenzt, außerdem hat hier der Zentralstrahl einen größeren Winkel zu den Gonaden als bei der Einstellung mit dem kleinen Tubus.

Bei Frauen ergibt diese Art der Bestrahlung der Unterlippe mit DERMOPAN Stufe V

0,245 μ mr/r (0,143 - 0,308)

und mit Bleigummiabdeckung der Ovarienregion

0,067 μ mr/r.

Tabelle 39

Gonadendosis bei Bestrahlung der Unterlippe, DERMOPAN,
FHA 30 cm, runder Tubus (mr/7000 r)

7000 r OD	Männer St. IV	Frauen St. V
ohne Bleigummi	0,791 mr	1,715 mr
mit Bleigummi	0,266 mr	0,469 mr

Um den Unterschied bei der Bestrahlung mit Tubussen gegenüber einer tubuslosen Bestrahlung aufzuzeigen, wurde die Gonadendosis während der Bestrahlung eines Ca im linken Mundwinkel ohne Tubus ausgemessen.

Tabelle 40

Männliche Gonadendosis bei der Bestrahlung eines Karzinoms im
linken Mundwinkel, DERMOPAN Stufe V, FHA 30 cm, frei aus-
strahlend ohne Tubus

	Anzahl	mr/r	mr/7000r
ohne Bleischutz	5	131,1 (83,5 - 258)	918
Schutz der Gonaden mit Bleigummi	2	0,544	3,808

Das Ergebnis zeigt eine etwa 500mal stärkere Belastung als die Bestrahlung mit Tubussen. Selbst mit Schutz der Gonaden durch Bleigummi ist sie noch mehr als doppelt so groß.

Nahbestrahlung - Weichstrahltherapie von Hauttumoren:

In unserer Abteilung findet in einigen besonderen Fällen auch noch die Röntgen-Nahbestrahlung nach CHAOUK Verwendung. Sie wird durchgeführt mit dem MONOPAN-Gerät der Fa. Siemens u. Reiniger (60 kV, 4 mA). Da bei diesem Gerät die Strahlenqualität nicht durch Veränderung der Röhrenspannung variiert werden kann, wird die GWHT durch Änderung des FHA der Tiefenausdehnung des Tumors angeglichen. Dies wird durch Abstandstubesse erreicht, die außerdem Felddurchmesser von 1,5 - 5 cm aufweisen (WACHSMANN und BARTH, 1949 (86)).

Tubus 1, 2 - 1,5 cm FHA

Tubus 3, 4 - 3,0 cm "

Tubus 5-10- 5,0 cm "

Ein Vergleich des Dosisabfalls zum DERMOPAN ergibt nach SCHIRREN (1955 (66)) zwischen DERMOPAN Stufe II und "Chaoul" FHA 1,5 cm übereinstimmende Werte. DERMOPAN Stufe IV liegt zwischen "Chaoul" FHA 3 und FHA 5 cm, während DERMOPAN Stufe V wieder mit "Chaoul" FHA 5 cm übereinstimmt.

Tabelle 41

Männliche Gonadendosis bei der Bestrahlung kleinflächiger Hauttumoren des Kopfes mit dem Nahbestrahlungsgerät nach CHAUL (60 kV, 4 mA)

	Auge		Nase		Ohr		Lippen		Gesamt		$\frac{\text{mr}}{7000 \text{ r}}$
	A	$\mu\text{r/r}$	A	$\mu\text{r/r}$	A	$\mu\text{r/r}$	A	$\mu\text{r/r}$	A	$\mu\text{r/r}$	
Tubus 1, 2	-	-	2	0,221 (0,182 0,260)	-	-	-	-	2	0,221	1,54
Tubus 3, 4	2	0,143 (0,089 0,196)	3	0,244 (0,160 0,330)	-	-	-	-	5	0,203	1,421
Tubus 5-10	3	0,203 (0,180 0,235)	2	0,394 (0,267 0,520)	2	0,230 (0,193 0,267)	1	0,532	8	0,298	2,08

Der Gesamtdurchschnitt aller 15 Fälle ergibt 0,256 $\mu\text{r/r}$. Das ist etwa 2,5mal so viel wie beim DERMOPAN (0,104 $\mu\text{r/r}$).

Da die Anzahl der Fälle beim Monopan wesentlich geringer ist als die beim Dermopan, ist es interessanter, einzelne Werte von Dermopan und Monopan direkt gegenüberzustellen. Es sind Fälle, bei denen die Bestrahlung an gleicher Lokalisation einmal beim Dermopan und einmal beim Monopan ausgemessen wurde.

Tabelle 42

Gegenüberstellung der Gonadendosen beim Dermopan und Monopan

N	Lokalisation	St.	T.	Dermopan		Gonaden-	T	Monopan		Gona-
				r	OD	dosis		r	OD	dendo-
						nr				s nr
R. F.	Nasenwurzel	II	2	500		4,9	5	500		133
T. M.	re. med. Augenwi.	IV	2	500		20,1	6	500		91
G. T.	li. Nasenflügel	III	3	500		43,5	4	500		80
G. T.	Nase (2 Felder)	III	3	1000		44,0	4	1000		142
J. R.	li. Nasenflügel	III	3	500		19,2	4	500		121
S. K.	Auge und Nase	II	2,3	1000		6,0	5,7	1000		356

Besonders augenfällig ist der Unterschied bei Dermopan St. II, wo die Qualität der Strahlung doch wesentlich weicher ist als beim Monopan.

Ein großer Unterschied besteht bei der Verwendung des Monopans darin, ob die Bestrahlung bei sitzendem oder liegendem Patienten durchgeführt wird.

In 2 Fällen wurde während der Bestrahlung eines Unterlippen-Ca die Gonadendosis 3mal in sitzender und 3mal in liegender Stellung ausgemessen. Die Wahl der Meßkammern war falsch, so daß keine genauen Meßergebnisse vorliegen. Es kann aber gesagt werden, daß bei einer Bestrahlung im Sitzen (Monopan, Tubus 10, 500 r OD) mehr als 0,9 r an die Gonaden gelangen, während bei der Bestrahlung im Liegen die Dosis bestimmt weniger als 2,5 mr beträgt.

Bei 7000 r OD im Sitzen mehr als 12,6 r
 im Liegen weniger als 35 mr

(Bekanntlich ist die Augenlinse auch ein sehr strahlenempfindliches Organ (POPPE, 1942 (59)). Wir haben deshalb in 2 Fällen, wo eine Geschwulst im medialen Winkel des linken Auges bestrahlt wurde, interessehalber die Dosis ausgemessen, die dabei auf das rechte Auge trifft, das nicht durch eine Bleischale (KNIERER und SCHIRREN, 1953 (33), WEDER, 1955 (88)) geschützt war. Die Dosis betrug bei 500 r OD mit DERMOPAN Stufe III, FHA 15 cm, Tubus 3, am rechten Auge 0,2 r).

b) Tumoren des Rumpfes

α) Brust und Bauch

Die Patienten liegen mit dem Rücken auf dem Bestrahlungstisch. Das Bestrahlungsfeld ist mit einer mindestens 5 cm breiten Bleifolie abgegrenzt.

Tabelle 43

Männliche Gonadendosis bei der Bestrahlung von Tumoren der Brust und des Bauches. DERMOPAN Stufe IV, FHA 30 cm

	Ap- zahl	$\sqrt{mr/r}$	mr/7000 r
(1) Ca rechte Brustseite, 3 cm unterhalb der Brustwarze, rd. Tubus, ohne Gonadenschutz	6	0,565 (0,275 - 0,86)	3,955
(2) Ca rechte Bauchseite unter dem Rippenbogen, viereckiger Tubus, ohne Gonadenschutz	6	36,65 (13,1 - 87,6)	256,55
Bleigummiabdeckung	2	1,31	9,18
(3) Keloide auf der Brust runder Tubus ohne Gonadenschutz	(7)	<4,6	<13,8 mr/3000r <32,2 mr/7000r

bei der Keloidbestrahlung sind die Ergebnisse infolge falscher Meßkammern wieder nicht genau. Die tatsächlichen Werte sind jedenfalls kleiner als die angegebenen. Es ist anzunehmen, daß sie sich in der Größenordnung von Fall 1 bewegen.

Aus Tabelle 32 ist zu sehen, daß die weibliche Gonadendosis bei Bestrahlung des Unterbauches wesentlich höher liegt. Sie beträgt bei

Dermopan Stufe	II	17,3 r/7000 r
"	III	92,7 r/7000 r
"	IV	118,5 r/7000 r
und	V	219,0 r/7000 r

3) Achselhöhle

Bei der Bestrahlung eines Tumors, der etwa in der Achselhöhle lokalisiert wäre, würde unter den gleichen Strahlungsbedingungen wie in Tabelle 29 die Gonadendosis für 7000 r das Bild von Tabelle 44 ergeben.

Tabelle 44

Männliche Gonadendosis bei der Bestrahlung eines Tumors in der Achselhöhle. DERMOPAN, FHA 30 cm, runder Tubus

DERMOPAN	mr/7000 r
Stufe II	1,265
" IV	12,650
" V	30,070

Analregion

Bestrahlung eines Analkarzinoms mit dem "Chaoul"gerät.

Tabelle 45

Männliche Gonadendosis bei der Bestrahlung eines Anal-Ca.,
MONOPAN, 60 kV, 4 mA, FHA 5 cm, Tubus 8

	Anzahl	mr/r	r/7000 r
Bleibeutel	6	0,054 (0,027 - 0,094)	0,378
Bleigummi	(4)	>2,5	>17,5

Bei dem üblichen Gonadenschutz durch Bleigummi würden also mehr als 17 r bei einer Bestrahlungsserie an die Gonaden gelangen. Der große Vorteil der Verwendung eines Bleibeutels wird hier besonders deutlich.

Bei Frauen im generationsfähigen Alter sind Bestrahlungen dieser Region abzulehnen. Es ist nicht möglich, die Ovarien irgendwie zu schützen, sie liegen auch bei sorgfältigster Feldumgrenzung, bei der Ellbogen-Knie-Lage immer im Primärstrahlenkegel.

Aus Tabelle 32b seien nochmals die Gonadenwerte entnommen:

63,6 r/7000 r bei DERMOPAN Stufe II
397 r/7000 r " " " IV

Bei Bestrahlung der Genitalregion:

41,9 r/7000 r bei DERMOPAN Stufe II
385 r/7000 r " " " IV.

f) Penis

In die Indikation der Haut-Röntgen-Therapie gehört noch die Bestrahlung der Induratio penis plastica und des Peniskarzinoms (vor der Metastasierung in die regionalen Lymphknoten). Die Bestrahlung der Induratio wird durchgeführt mit einer HWS von 1,4 mm Al, FHA 15 cm. Die OD beträgt 2mal je 400 r, wiederholt alle 8 - 10 Wochen 4 bis 5mal. Also die Gesamtdosis beträgt 3-4000 r (SCHIRREN, 1955 (68)). Mit der gleichen Qualität wird auch das Peniskarzinom bestrahlt, nur eben mit einer höheren Gesamtdosis in wesentlich kürzerer Bestrahlungszeit. Die Gonaden werden durch eine 2 mm dicke Bleiplatte geschützt, die zwischen Penis und Hoden geschoben wird.

In 9 Fällen einer Induration penis plastica (I.P.P.) wurde mit Argonkammern, die neben das Skrotum gelegt wurden, die Dosis unter der Bleiplatte gemessen.

Tabelle 46

Gonadendosis bei der Bestrahlung einer J.P.P. DERMOPAN,
Stufe V, FHA 15 cm, Tubus 4, 2 cm Cellon

Anzahl	mr/r	mr/4000 r	mr/7000 r
9	1,54	6,16	10,8

Die Bleiplatte gewährt also einen völlig ausreichenden Schutz.

c) Hauttumoren an den Extremitäten

α) Ober- und Unterschenkel

Durch Umrechnung aus Tabelle 30 ergeben sich als männliche Gonadendosis bei der Bestrahlung des Oberschenkels mit DERMOPAN Stufe II, FHA 30 cm, viereckiger Tubus

ohne Gonadenschutz	25,6 r/7000 r
mit Bleigummischutz	7,32 r/7000 r

Bei der Bestrahlung des Unterschenkels errechnen sich 1,4 r/7000 r.

Es muß bedacht werden, daß diese Werte einfach durch Multiplikation aus der Ekzembestrahlung gewonnen wurden, wo keine Begrenzung des Bestrahlungsfeldes durch eine Bleifolie vorlag.

β) Füße

Tabelle 47

Männliche Gonadendosis bei der Bestrahlung von Hautgeschwülsten des Fußes. DERMOPAN, FHA 30 cm, runder Tubus

	Stu- fe	An- zahl	nr/r	mr/7000r
(1) Patient auf dem Bestrahlungstisch sitzend, Tubus auf den linken inneren Knöchel gerichtet	IV	4	39,1 (23,8 - 57,1)	273,7
(2) Patient liegt mit Vorderseite auf dem Bestrahlungstisch, Tubus auf den Fußballen gerichtet	IV	3	8,1	56,7
(3) Patient sitzt auf dem Bestrahlungstisch, Tubus auf den linken Fußrücken gerichtet	II	4	2,56 (1,59 - 3,4)	17,9

Abschließend kann zur Röntgentherapie von Hautgeschwülsten mit der Weichstrahlmethode und der Nahbestrahlungsmethode nach CHAOUL gesagt werden, daß lediglich Bestrahlungen der Genital- und Analgegend bei Frauen eine genetische Gefahr bringen. Bei Männern können die Gonaden durch einen Bleisack ausreichend geschützt werden.

4. Röntgen-Epilation

Die Röntgenepilation des behaarten Kopfes wird durchgeführt mit dem Dermopangerät Stufe IV (50 kV, 25 mA, 1 mm Al Filter, HWS 0,9 mm Al) bei einem FHA von 30 cm frei ausstrahlend ohne Bestrahlungstubusse. Es werden dabei 4 Felder eingestellt, 2 Temporalfelder (Feld I und II), 1 Parietalfeld (Feld III) und ein Hinterhauptfeld (Feld IV). Die Gesamtdosis beträgt pro Feld 375 r frei Luft, die fraktioniert in täglichen Einzeldosen von 50 - 100 r gegeben werden (SCHIRREN, 1956 (69)).

Tabelle 48

Männliche Gonadendosis bei der Röntgenepilation des behaarten Kopfes
DERMOPAN, Stufe IV, FHA 30 cm, ohne Bestrahlungsubusse

	An- zahl		Feld I	Feld II	Feld III	Feld IV	ganze Epi- lation 4 x 375 r
ohne Bleigummi	8	mr/r mr/375r	0,198 74,2	0,188 70,5	46,5 17,42r	0,840 315,0	17,88 r
mit Bleigummi- schutz der Gona- denregion	8	mr/r mr/375r	0,268 0,101	0,258 0,097	328,0 123,2	1,420 0,532	123,93 mr

Es ist ersichtlich, daß nur das Parietalfeld eine Gefahr bedeutet. Hier trifft der Zentralstrahl in der Verlängerung die Gonadenregion. Sie muß unbedingt durch Bleigummi geschützt werden.

5. Grenzstrangbestrahlung nach PAUTRIER

Die Grenzstrangbestrahlung nach PAUTRIER erfolgt bei auf dem Bauch liegendem Patienten in 3 Feldern von 10 x 15 cm entlang der Wirbelsäule, beginnend mit dem ersten Brustwirbel, mit 180 kV, 4 mA, 0,5 mm Cu Filter.

a) Männer

Tabelle 49

Männliche Gonadendosis bei der Grenzstrangbestrahlung nach
PAUTRIER, 180 kV, 4 mA, 0,5 mm Cu Filter

	Anzahl	mr/r	mr/100 r
Feld I	5	0,113 (0,087 - 0,16)	11,3
Feld II	5	0,195 (0,123 - 0,312)	19,5
Feld III	4	1,1 (0,51 - 1,37)	110,0
Gesamt		1,508	150,8

b) Frauen

Tabelle 50
Weibliche Gonadendosis bei der Bestrahlung nach PAUTRIER

	Anzahl	mr/r	mr/100r
Feld I	5	0,222 (0,114 - 0,343)	22,2
Feld II	4	0,708 (0,257 - 1,0)	70,8
Feld III	8	16,040 (5,5 - 23,4)	1604,0
Gesamt		16,970	1697,0

Bei Frauen ergibt sich eine 10mal stärkere Belastung der Gonaden als bei Männern. Der Grund liegt darin, daß die Ovarien bei der Einstellung des Lumbalfeldes möglicherweise bereits in den Primärstrahlenkegel zu liegen kommen. Der Hoden sitzt wesentlich tiefer und wird von den Primärstrahlen nie erreicht. Die Körpermaße der Patienten spielen hier natürlich eine sehr große Rolle.

C) STRAHLENBELASTUNG FÜR ÄRZTLICHES UND TECHNISCHES PERSONAL IM BESTRAHLUNGSRAUM

Für den Patienten selbst sind Angaben über höchstzulässige Dosen nirgends in Regeln oder Vorschriften erwähnt. Diese Frage ist eine rein ärztliche und ist von Fall zu Fall vom verantwortlichen Arzt zu entscheiden. Für Arzt und Personal gibt es Richtlinien und Vorschriften über Strahlenschutz und höchstzulässige Dosen schon seit den zwanziger Jahren. Sie wurden schließlich nach der auf Grund der Reichs-Versicherungsordnung (RVO) erfolgten Gründung einer Berufsgenossenschaft für medizinische Betriebe in deren gesetzlich vorgeschriebene Unfallverhütungsvorschriften (UVV) aufgenommen. (GRAF 1939 (13), 1948 (14), 1954 (15), 1955 (16)). Aus der heute noch gültigen UVV von 1953 möchte ich kurz die wichtigsten Punkte herausgreifen und als Grundlage für die Strahlenschutzmessungen im Bestrahlungsraum benutzen.

UVV - 1953 nach ERNST (1953)(9):

- § 4 (1) Die Beschäftigten sind möglichst wenig mit Strahlen zu belasten.
- (2) 4. Zu diesem Zweck ist bei der Durchführung des Strahlenschutzes insbesondere für den Schutz besonders strahlenempfindlicher Organe, z.B. der Generationsorgane und des roten Knochenmarks, zu sorgen.
- § 7 (1) Die Röntgenanlage ist so zu betreiben, daß die Dosis auf der Haut der Beschäftigten, mit Ausnahme der in § 7 (2, 3) und § 8 genannten Fälle, in einer Woche 0,5 r nicht überschreitet.
- (2) Werden bei Kurzzeitanalbestrahlung oder bei diagnostischen Arbeiten Schutzschürzen getragen, so darf die Strahlenmenge auf der Haut unter der Schutzkleidung nur 0,2 r in einer Woche und auf dem durch die Schutzschürze nicht schützbaeren Teil des Körpers 1 r in einer Woche betragen.
- (3) An Händen und Füßen darf in allen Fällen, abweichend von den Absätzen (1) und (2), die Strahlenmenge in einer Woche 1,5 r betragen (kein Einfluß auf das Blutbild).
- § 8 Die in § 7 genannten Höchstdosen gelten nicht für Angehörige hilfsbedürftiger Personen, z.B. von Kleinkindern, wenn sie diese ausnahmsweise halten sollen, jedoch sind dabei die Vorschriften des § 4 zu achten.
(Es ist eindeutig erklärt, daß z.B. bei Pflegeschwestern von Krankenstationen genau so § 7 anzuwenden ist).
- § 18 Die Einschaltzeit darf für ein und denselben Beschäftigten bei Therapie, Durchleuchtung und ähnlichen Langzeitschaltungen nicht mehr als

900 Minuten je Woche betragen.

§ 41 Während der Durchführung der Therapie mit Spannungen über 150 kV darf sich außer dem Patienten niemand im Bestrahlungsraum befinden.

Anlage 1

13. Die Arbeits- und Daueraufenthaltsplätze des Personals müssen so abgeschirmt sein, daß bei höchstmöglicher Benutzung und gleichzeitiger Durchstrahlung eines Patienten folgende Dosisleistungen nicht überschritten werden:

b) Hauttherapieanlagen

12 μ r/sec.

Anlage 2

Der Bleigleichwert der Röntgenschutzschürzen und Handschuhe muß 0,2 mm betragen.

Dies sind die wichtigsten hier interessierenden Vorschriften aus den UVV. Ihre Einhaltung erfolgt bei uns in der Bundesrepublik, im Gegensatz zur Deutschen Demokratischen Republik, wo die Vorschriften gesetzliche Kraft haben, auf freiwilliger Basis.

Wie bereits erwähnt wurde, erfolgt die Röntgenhauttherapie bei uns fast ausschließlich durch das Weichstrahlgerät DERMOPAN. Wenige besondere Fälle werden mit dem Nahbestrahlungsgerät nach CHAOUJ behandelt, noch seltener kommt für Grenzstrangbestrahlungen das Siemens-Tiefentherapiegerät (180 kV, 0,5 mm Cu Filter) zur Anwendung. Wir haben an diesen Geräten die Strahlenschutzverhältnisse für das Bedienungspersonal überprüft.

I. Schaltpersonen

1. DERMOPAN

a) "Nahbestrahlung"

Die technische Assistentin befindet sich bei der Bedienung dieses Gerätes im Bestrahlungsraum. Ihr Platz hinter dem Schalttisch liegt auf gerader Linie über diesen zur Bestrahlungsröhre. Sie hat also bis zur Brust den Schutz des Schalttisches, darüber ist eine Bleiglasscheibe montiert mit 0,5 mm Bleigleichwert. Der Abstand von der Röhre zum Schalttisch beträgt mindestens 120 cm. Die Einstellung der Röhre am Patienten erfolgt so, daß der Zentralstrahl niemals einen spitzen Winkel zum Schalttisch erhält.

Wir haben die Tagesstreustrahlendosis an verschiedenen uns wichtig erscheinenden Punkten ausgemessen:

1. vor der Bleiglasscheibe
2. hinter der Bleiglasscheibe
(es galt den Schutzwert des Bleiglasses festzustellen)
3. unter dem Schalttisch
(Der Schalttisch ist fahrbar, die Fußspitze der Assistentin befinden sich während der Bestrahlung unter dem Schalttisch)
4. in der Brusttasche der Assistentin

Vor dem Bleiglasschirm wurden Zylinderkammern verwendet. In einem Gummifin- gerling eingepackt wurden sie mit einem ganz schmalen Leukoplaststreifen am Glas befestigt. Hinter der Bleiglasscheibe, unter dem Schalttisch und in der Brusttasche der Assistentin wurde mit Argonkammern gemessen.

Das Ergebnis kommt hier durch ein Strahlengemisch aus den verschiedenen Qua- litäten des Dermopans zustande. Aus Sicherheitsgründen wurde deshalb mit den Eichwerten der Kammern für Dermopan Stufe II gerechnet. Die tatsächlichen Werte können also noch etwas niedriger angenommen werden als sie in Tabelle 51 angegeben werden.

Tabelle 51
Streustrahlendosis pro Tag an verschiedenen Punkten des
Dermopans in mr

	An- zahl 1)	mr/Tag
vor dem Bleiglasschutzschirm	34	23,630 (7,7 - 44,75)
hinter dem "	17	0,105 (0,055 - 0,216)
unter dem Schalttisch	8	0,059 (0,030 - 0,081)
Brusttasche der Assistentin	8	0,102 (0,025 - 0,187)

In Tabelle 52 sind unter Verwendung der gemessenen Höchstwerte und der An- nahme von 5 Arbeitstagen in der Woche unsere Ergebnisse zum Vergleich gesetzt mit den höchstzulässigen Dosen für Beschäftigte aus den I R C P - Empfehlungen von 1956.

1) Zahl der durchgeführten Tagesmessungen

Tabelle 52

	mr/Tag	mr/Woche	r/Jahr	r/40 Jhr.
vor dem Bl. gl. Schirm	44, 750	223, 750	11, 635	465, 40
hinter dem "	0, 216	1, 080	0, 056	2, 24
unter d. Schalttisch	0, 081	0, 405	0, 021	0, 84
Brutt. d. Assistentin	0, 187	0, 935	0, 049	1, 96
Zum Vergleich die höchstzulässigen Dosen für Beschäftigte aus den IRCP-Empfehlungen von 1956	50, 0	300, 0	5, 0	60. Lebensjahr Beginn der Besch. m. 20 J. 200, 0

Es geht daraus klar hervor, daß die Schaltperson nur den 100sten Teil der erlaubten Jahresbelastung erhält, die zulässige Tages- und Wochendosis ist sogar ungefähr 300mal größer als unsere maximalen Werte.

Unter dem Schalttisch ist die Dosis noch geringer, der § 7 (3) der UVV findet weitestgehende Erfüllung.

Den Ergebnissen von Tabelle 51 liegen die aus Tabelle 53 ersichtlichen Betriebszeiten des Dermopans zugrunde.

Tabelle 53

8-wöchige Registrierung der Einschaltzeiten des Dermopans

pro Tag	Maximum	Minimum	Durchschnitt
Einschaltzeit	72'57"	30' 3"	40'57"
r - Ausstoß	17350	6400	10200

Die längste Einschaltzeit mit 73 Minuten pro Tag ergäbe eine Schaltzeit von 365 Min. in der Woche. Sie liegt damit immer noch weit unter der zulässigen Bedienungszeit von 900 Minuten pro Woche für eine Person (§ 18 UVV).

SCHIRREN hat 1953 festgestellt, daß Röntgenbestrahlungen mit dem Dermopangerät ohne Tubusse eine relativ besonders hohe Strahlengefährdung im Raum und am Schalttisch mit sich bringen. Dies kann jetzt durch Messungen am Schalttisch während der Röntgenepilation und der tubuslosen Bestrahlung von Tabelle 40 bestätigt werden.

Während sich aus den obigen Ergebnissen bei der Bestrahlung mit Tubussen eine durchschnittliche Dosis von $0,95 \text{ mr/r}$ vor der Bleiglasscheibe und $0,008 \text{ mr/r}$ hinter derselben errechnen läßt, beträgt die Dosis bei den tubuslosen Bestrahlungen im Mittel vor der Bleiglasscheibe 303 mr/r und hinter ihr $2,04 \text{ mr/r}$. Die Gefährdung bei der Bestrahlung ohne Tubusse ist also ungefähr um den Faktor 300 größer als bei der Bestrahlung mit Tubussen, oder, anders bezogen, durch 100 r einer tubuslosen Bestrahlung wird am Schalttisch bereits die Tagesdosis der Bestrahlung mit Tubus erreicht.

b) Fernbestrahlung

Die Röntgenfernbestrahlungen werden mit dem Dermopangerät bei 50 kV, 25 mA, ohne Filterung in einem kleinen Raum von der Größe 2 x 3,5 m durchgeführt. Wie schon erwähnt, wird durch die Weglassung des Filters eine hohe Dosisleistung erreicht. Die Schaltperson sitzt hinter dem Schalttisch, der mit seinem montierten Bleiglasfenster vor einer genau passenden Öffnung an der Schmalseite des Raumes steht. Die Entfernung der Röhre zum Schalttisch beträgt 1,2 m. Der Zentralstrahl verläuft horizontal und hat zum Schalttisch einen Winkel von 180° .

In den Tabellen 54 und 55 ist das Ergebnis aus 35 einzelnen Raumschutzmessungen an verschiedenen Positionen zusammengestellt.

Tabelle 54
Streustrahlenmessungen während der Röntgenfernbestrahlung der
Haut in der Bestrahlungsbox (Werte in mr/Min)

	ohne Filter	1,0 mm Al-Filter
1. <u>Horizontaler Strahlengang</u>		
vor dem Bleifenster	41,6	7,6
hinter dem Bleifenster	0,001	0,003
an der offenen Tür	87	
neben der Türöffnung	11,8	
50 cm weiter entfernt	3,88	
2. <u>Vertikaler Strahlengang</u>		
vor dem Bleifenster	120	
hinter dem Bleifenster	0,003	

Die Schaltperson ist also hinter dem Schalttisch genügend geschützt. Durch die Bleiwände der Bestrahlungsbox wird die gesamte Streustrahlung abgefangen, lediglich die Dosis, die noch durch das Bleifenster durchtritt, kann an der Schaltperson wirksam werden. Bei der Bestrahlung mit 1 mm Al-Filter wird hinter der Bleiglasscheibe trotz der wesentlich geringeren Dosisleistung infolge der härteren Strahlenqualität eine etwas größere Dosis gemessen als bei der filterlosen Bestrahlung.

Bei der Fernbestrahlung mit frei im Raum stehendem Bestrahlungsgerät ändern sich die Streustrahlenverhältnisse sofort, wie es die Ergebnisse aus Tabelle 55 zeigen.

Tabelle 55

Streustrahlenmessungen während der Röntgenfernbestrahlung der Haut mit frei im Raum stehendem Bestrahlungsgerät (Werte in mr/Min)

	ohne Filter	1,0 mm Al-Filter
1. <u>Horizontaler Strahlengang</u>		
vor der Bleiglasscheibe	40	
hinter der Bleiglasscheibe	0,186	0,081
hinter dem Schalttisch	0,135	0,039
(Gonaden)		
Gonaden mit Bleischurz	----	
Rücken der Schaltperson	0,11	
2. <u>Vertikaler Strahlengang</u>		
vor der Bleiglasscheibe	120	
hinter der Bleiglasscheibe	0,382	
hinter dem Schalttisch	0,201	
(Gonaden)		
Gonaden mit Bleischürze	----	

Ohne die schützenden Bleiwände der Bestrahlungsbox ist die Streustrahlung hinter dem Schaltgerät etwa um den Faktor 100 größer. Bei senkrechtem Strahlengang ist sie 2-3mal so groß wie bei horizontalem. Die Gonaden der Schaltperson können durch eine Bleigummischürze vollkommen ausreichend geschützt werden.

2. MONOPAN

Die Nahbestrahlung nach CHAOL kommt bei uns nur in seltenen Fällen zur Anwendung. Aus diesem Grunde war zum Zeitpunkt dieser Messungen auch keine Bleiglasscheibe auf den Schalttisch montiert. Die Schaltperson sitzt hinter dem Schalttisch, der sich im Bestrahlungsraum befindet. Der Abstand vom Tubus zum Schalttisch beträgt 160 cm.

Da die Einschaltzeit beim Monopan pro Tag nur ganz gering war, wurde der Meßwert auf die Bestrahlungsdosis bezogen.

Tabelle 56
Schutzmessungen am Monopangerät 60 kV, 4 mA,
Röhrenfilterung etwa 0,2 mm Ca

	Anzahl	$\mu\text{r/r}$
hinter dem Schalttisch	5	0,037 (0,026 - 0,062)
Brusttasche d. Assistentin	5	0,058 (0,028 - 0,124)

Der größere Wert in der Brusttasche der Schaltperson kommt dadurch zustande, daß sich die Assistentin während der Bestrahlung manchmal vom Stuhl erhebt, um die richtige Lage der Feldeinstellung besser überprüfen zu können. In Brusthöhe fällt dann der Schutz des Schalttisches weg, da auf ihm keine Bleiglasscheibe angebracht ist.

3. SIEMENS-TIEFENTHERAPIEGERÄT

Mit dem Siemens-Tiefentherapiegerät (180 kV, 4 mA, 0,5 mm Cu Filter) wird die Grenzstrangbestrahlung nach PAUTRIER durchgeführt. Bei dieser Bestrahlung darf sich nur der Patient im Bestrahlungsraum befinden. Die Bedienung dieses Gerätes erfolgt deshalb von einem getrennten Schaltraum aus. Die Assistentin kann durch ein Bleiglasfenster den Bestrahlungsraum überblicken. In Tabelle 55 finden sich die Dosiswerte vor und hinter dem Bleiglasfenster, das zum Bestrahlungstubus einen Abstand von 2,30 m hat.

Tabelle 57

Schutzmessungen bei der Grenzstrangbestrahlung nach PAUTRIER.
180 kV, 4 mA, 0,5 mm Cu Filter, Feldgröße 10 x 15 cm. Mittel
aus 5 Messungen

vor dem Fenster zum Schaltraum	5,0 $\mu\text{r/r}$
hinter dem " " "	0,114 $\mu\text{r/r}$

II. Ärztliches Personal

Messungen in der Tasche des einstellenden Arztes über eine Woche brachten kein meßbares Ergebnis. Der Arzt befindet sich bei eingeschalteter Röhre nie im Bestrahlungsraum.

III. Hilfspersonal

Bei der Hämangiombestrahlung von Kleinkindern ist es unerläßlich, daß eine zweite Person das Kind während der Bestrahlung festhält, um ein Verrutschen des Tubusses und der Bleifolie durch Abwehrbewegungen des Kindes auszuschließen. Meist geschieht dies durch die begleitende Mutter oder sonstige Verwandte, bei einer stationären Behandlung des Kindes müssen dieses Amt aber die Pflegeschwestern übernehmen. Für sie gilt der § 7 der UVV für Beschäftigte in vollem Umfang. Wir haben deshalb die Strahlenbelastung dieser Haltepersonen untersucht, wobei die Meßkammern in der Inguinalgegend angebracht wurden.

Tabelle 58

Durchschnittliche Strahlenbelastung an der Inguinalgegend der Haltepersonen bei der Hämangiombestrahlung von Kleinkindern. DERMOPAN.
Mit und ohne Bleigummischürze (0,5 mm Bleigleichwert)

		Anzahl	$\mu\text{r/r}$ $\text{mr}/1000\text{r}$
Ohne Bleigummischürze	Stufe II	11	0,514
	Stufe III	7	1,013
	Stufe IV	5	3,109
Mit Bleigummischürze (0,5 mm Bleigleichwert)	Stufe IV	4	0,085

Die Dosis bei Verwendung eines Bleigummischurzes beträgt also nur 2,7 % der Dosis ohne Schurz. Außerdem ist ein Ansteigen der Dosis mit härter werdender Strahlenqualität gut erkennbar. Eine Aufteilung der Werte nach dem verwendeten Tubusquerschnitt brachte keine Abhängigkeit: Tubus 2 = 1,43 $\mu\text{r/r}$; Tubus 3 = 0,94 $\mu\text{r/r}$; Tubus 4 = 1,28 $\mu\text{r/r}$. Die Strahlenbelastung der Halteperson ist eben in der Hauptsache abhängig von der Einstellung des Zentralstrahles zur Halteperson, von deren Größe und Haltung und von der Strahlenqualität. Die Feldgröße von 1 - 4 cm bei Verwendung des Bleiglastubussatzes spielt nur eine sehr untergeordnete Rolle.

Zum Vergleich erbrachte eine Bestrahlung mit dem Monopangerät an der Inguinalgegend der Halteperson eine Dosis von

221,0 $\mu\text{r/r}$ ohne

und 0,64 $\mu\text{r/r}$ mit Bleigummischurz.

Bei der Diskussion über einen Vergleich mit dem Dermopangerät sind natürlich die oben ausgesprochenen Abhängigkeiten zu berücksichtigen.

D) GESAMT DISKUSSION

Aus den in Abschnitt B III vorliegenden Meßergebnissen wird ersichtlich, daß auch in der Hautröntgentherapie für die Gonaden des Patienten eine gefährliche Strahlenbelastung auftreten kann. Sie ist naturgemäß überall dort besonders hoch, wo die Gonaden im direkten Strahlengang liegen.

Sie ist weiter abhängig von den Körpermaßen des Patienten, von der Feldgröße, davon, ob das Bestrahlungsfeld mit Bleifolie abgegrenzt wird oder nicht, ob mit oder ohne Tubusse bestrahlt wird, von der Richtung des Zentralstrahles und von der Strahlenqualität.

Eine Entzündungsbestrahlung der Hände bringt an die Gonaden des Mannes eine Dosis von etwa 10 mr, eine Größenordnung, wie sie von den Amerikanern als erlaubte Gonadendosis pro Tag vorgeschlagen wird. Durch eine Bedeckung der Gonadenregion mit Bleigummi kann die Dosis aber bis auf 0,03 mr gesenkt werden.

Die Entzündungsbestrahlung von Schweißdrüsenabszessen zeigt deutlich das Ansteigen der Dosis mit Erhöhung der Spannung. Während bei Dermopan Stufe II 0,05 mr an den Gonaden des Mannes gemessen werden, beträgt die Dosis bei Stufe V 1,3 mr. Durch Bleigummi über den Gonaden könnte sie weiter vermindert werden.

Die Bestrahlung des Oberschenkels, besonders der Innenseite, ist wegen der nahen Lokalisation zu den Testes schon bedeutungsvoller. Die Ekzembestrahlung belastet die Gonaden mit einer Dosis von 1 r, durch Bleigummi wird sie um 1/3 gesenkt. Würde hier unter gleichen Bedingungen eine Hautgeschwulst mit 7000 r bestrahlt werden, kämen - gleiche Feldgrößen vorausgesetzt - etwa 25 r an die Gonaden. Ein Bleischutz ist hier unbedingt zu fordern. Eine Tumorbestrahlung an den Füßen mit 7000 r bringt bei exakter Bleiabgrenzung nur 0,3 r als Gonadendosis.

Die Bestrahlung der Analregion gehört erwartungsgemäß zu den für die Gonaden gefährlichsten Bestrahlungen. Bei Männern kann die Dosis durch Verwendung eines Bleibeutels bis zu einem unbedenklichen Betrag gesenkt werden. Die Gonaden der Frauen sind kaum zu schützen und erhalten bei 300 r OD (Entzündungsbestrahlung, Dermopan Stufe II) eine Dosis von ungefähr 3 r, bei 7000 r OD 65 r. Dermopan Stufe IV erhöht die Gonadendosis auf 17 r (300 r OD) und 400 r (7000 r OD). Bei Genitalbestrahlungen an Frauen (Vulvaeinstellung) ist die Gonadendosis nur um wenig geringer. Diese Bestrahlungen sollten deshalb bei Frauen im generationsfähigen Alter nicht durchgeführt werden.

Bei Genitalbestrahlungen an Männern (Induratio penis plastica, Penis-Ca) kann der Hoden durch eine Bleiplatte ausreichend geschützt werden.

Die männliche Gonadendosis bei Röntgenfernbestrahlungen der Haut wird mit Hilfe des Bleibeutels auf 75 mr pro 1000 r OD gehalten, gegenüber 4 r / 1000 r bei Verwendung eines Bleischildes. Frauen innerhalb des Generationsalters sind unbedingt durch ein auf die Ovarien gezieltes Bleischild zu schützen. Die Gonadendosis wird dadurch auf ungefähr 0,5 r pro 1000 r gesenkt, das sind 10 bis 5 % der Dosis bei Fernbestrahlung ohne Bleischutz der Gonaden.

Gesichtsbestrahlungen unter Verwendung von Bestrahlungstubussen sind in Bezug auf die Strahlenbelastung der Gonaden ohne Bedeutung. Beim Dermopangerät erreicht die Dosis bei 7000 r OD nur einen durchschnittlichen Wert von 1 mr (Männer). Bei Frauen ist er noch geringer. Die Nahbestrahlung mit der Chaoul-röhre bringt der härteren Strahlenqualität entsprechend eine etwa 2 - 30mal größere Gonadendosis. Der Unterschied zu Dermopan Stufe II (29 kV) ist demzufolge besonders groß, ungefähr 40 %. Dies gilt allerdings nur bei der Bestrahlung im Liegen. Bei sitzendem Patienten kommen die Gonaden, besonders bei einer Unterlippenbestrahlung, evtl. in den Primärstrahlenkegel zu liegen, die Gonadendosis steigt sofort um Größenordnungen an. Deshalb ist eine Bestrahlung im Sitzen unbedingt abzulehnen.

Tubuslose Gesichtsbestrahlungen zeigen eine Gonadenbelastung von etwa 1 r bei 7000 r OD. Hier müssen die Gonaden durch Bleigummi geschützt werden.

Bei der Röntgen-Epilation des behaarten Kopfes, die ebenfalls ohne Tubusse durchgeführt wird, ist besonders die Bestrahlung des Parietalfeldes für die Gonaden von Bedeutung. Der Zentralstrahl läuft hier in Richtung auf die Gonadenregion, die dort gemessene Dosis beträgt 17 r bei 375 r OD. Durch eine Bleigummiabdeckung wird diese Dosis auf 0,123 mr reduziert.

Bei der Grenzstrangbestrahlung nach PAUTRIER, die mit 180 kV, 4 mA, 0,5 mm Cu Filter durchgeführt wird, erfahren die weiblichen Gonaden mit 1,7 r pro 100 r OD eine etwa 10mal stärkere Belastung als die männlichen. Die Ovarien liegen bei der Bestrahlung des Lumbalfeldes im Primärstrahlenkegel (von der Körpergröße der Patientin stark abhängig). Bei Frauen im generationsfähigen Alter sollte deshalb auch die Bestrahlung nach PAUTRIER möglichst vermieden werden.

Von besonderer Bedeutung erscheint also die Tatsache, die sich aus den durchgeführten Untersuchungen ergibt, daß es praktisch kein Bestrahlungsverfahren in der Dermatoröntgentherapie gibt, bei dem die mögliche genetische Strahlenbelastung nicht durch entsprechende, im allgemeinen außerordentlich leicht durchführbare Schutzmaßnahmen durch Bleiabdeckung aufgehoben bzw. so we-

sentlich reduziert werden kann, daß sie bedeutungslose Werte erreicht.

In Abschnitt C wird gezeigt, daß in der Hautröntgentherapie bei Beachtung der vorhandenen Schutzvorrichtungen für das Bedienungspersonal der Therapiegeräte keine Gefahr besteht. Die für die Schaltperson gemessenen Dosen liegen weit unter den in Vorschriften festgelegten höchstzulässigen Dosen für Beschäftigte. Lediglich eine Therapie ohne Bestrahlungstubusse würde dieses Bild ungünstig verändern. Diese Bestrahlungsart kommt jedoch so selten vor, daß sie nicht weiter ins Gewicht fällt. Der einstellende Arzt befindet sich bei eingeschalteter Röhre nie im Bestrahlungsfeld. Bei ihm konnte keine meßbare Strahlenbelastung festgestellt werden. Pflegeschwestern, die z. B. bei der Hämangiombestrahlung von Kleinkindern benötigt werden, sind durch eine Bleigummischürze genügend geschützt.

ZUSAMMENFASSUNG

Im allgemeinen Teil der Arbeit wird die Bedeutung des Strahlenschutzes besprochen. Es wird das Wesen der ionisierenden Strahlen erklärt und im Rahmen der Angaben über die heute bestehende natürliche und künstliche Strahlenbelastung neben allgemeinen Schädigungen besonders auf die genetischen Wirkungen energiereicher Strahlen näher eingegangen. Es folgt eine kurze Betrachtung über die "Toleranzdosis" und die heute gültigen höchstzulässigen Dosen, sowie über die eigenen und internationalen Organisationen, die sich mit ihrer Aufstellung und Einhaltung befassen. Weiter werden umfassende Literaturangaben über die genetische Strahlenbelastung des Patienten in der Röntgen-Diagnostik und -Therapie gebracht.

Der experimentelle Teil befaßt sich zunächst mit der Strahlenbelastung der Gonaden des Patienten in der Röntgen-Hauttherapie. Die Untersuchungen wurden in der Strahlenabteilung der Dermatologischen Klinik der Universität München durchgeführt. Nach einer Erklärung über die dort verwendeten Therapiegeräte und über die Technik der Messungen mit Kondensatorkammern folgt ein Bericht über die Ergebnisse aus 739 Einzelmessungen, von denen 640 ausgewertet werden konnten. Danach sind lediglich Bestrahlungen in den Genitalregionen, sowie unter gewissen Umständen die Bestrahlung nach PAUTRIER, die Röntgen-epilation und die Röntgen-Fernbestrahlung der Haut von größerer genetischer Bedeutung.

Im zweiten Punkt, der die allgemeine Streustrahlenbelastung des technischen Personals in der Haut-Röntgentherapie untersucht, wurde festgestellt, daß unter Beachtung der Schutzvorschriften die Strahlenbelastung weit unter den höchstzulässigen Dosen liegt.

Herrn Professor Dr. A. Marchionini, dem Direktor der Universitäts-Hautklinik zu München, möchte ich zum Schluß meiner Arbeit dafür danken, daß ich in seiner Klinik meine Untersuchungen durchführen konnte.

Eine weitere angenehme Pflicht ist es mir, dem Referenten, Herrn Priv. Doz. Dr. med. Carl Georg Schirren, für die freundliche Überlassung dieses Themas, für seine vielen wertvollen Anregungen dazu und für die Arbeitsmöglichkeit in seiner Abteilung zu danken.

Außerdem gilt mein Dank Frau Dr. med. Ruth Dittmar, die unermüdlich tätig war, mir seltenere Krankheitsfälle zu beschaffen und dazu bei den weiblichen Patienten die Applikationen der Meßkammern übernahm, sowie den übrigen Ärzten und Angestellten der Strahlentherapie-Abteilung für ihre freundliche Hilfsbereitschaft.

LITERATUR

- 1) ARDRAN, G.M., H.E. Crooks, F.H. Kemp and R. Oliver:
Radiation dose to staff in medical x-ray departments.
Brit. J. Radiol. 30, 600 (1957)
- 2) AURAND, K.:
Die Systematik der Strahlenschäden.
In Rajewsky, Wissenschaftliche Grundlagen des
Strahlenschutzes. Karlsruhe 1957
- 3) BILLION, H.:
Aktuelle Probleme des Strahlenschutzes
Berl. Med. 16, 351 (1957)
- 4) CHANTRAINE:
Sind Röntgenstrahlen wirklich ein so gefährliches
Keimgift?
Fortschr. Röntgenstr. 73, 765 (1951)
- 5) DE AMICIS, Ch.K. Spalding and R. S. Cowing: Survey of x-ray exposures in
hospital personnel
J. Amer. Med. Assoc. 1952, 924
- 6) DOMONKOS, A. and G.H. Cameron: Radiation protection in dermatology.
Arch. of Dermat. 76, 694 (1957)
- 7) DRESEL, H.:
Filmdosimetrie bei Strahlenschutzmessungen
Fortschr. Röntgenstr. 84, 214 (1956)
- 8) ERNST, W.:
Über die Röntgentoleranzdosis
Fortschr. Röntgenstr. 73, 362 (1951)
- 9) ERNST, W.:
Strahlenschutz und sonstiger Arbeitsschutz bei der
medizinischen Anwendung von Röntgenstrahlen.
Die neuesten Unfallverhütungsvorschriften mit
Erläuterungen. Stuttgart: Georg Thieme, 1953
- 10) FRIEDRICH, W. und P.P. Koch: Über Methoden zur photographischen Spektral-
photometrie der Röntgenstrahlen.
Ann. Phys. 45, 399 (1914)
- 11) GLASS, B.:
The genetic hazards of nuclear radiations Science
(Lancaster, Pa.) 126, 241 (1957)
- 12) GLOCKER, R.:
Deutsche und ausländische Strahlenschutzregeln
für medizinische Röntgenanlagen
Fortschr. Röntgenstr. 73, 13 (1951)
- 13) GRAF, R.:
Neufassung der Regeln für den Strahlenschutz
DIN Rönt. 2
Strahlenther. 65, 674 (1939)
- 14) -
Heutiger Stand der Strahlenschutzvorschriften und
-Normen
Strahlenther. 77, 317 (1948)

- 15) GRAF, H.: Die neue Unfallverhütungsvorschrift für medizinische Röntgenbetriebe.
Röntgen-u. Laborat. -Prax. 7, 107 (1954)
- 16) - Das Problem der gesetzlichen Strahlenschutzregelung.
Röntgen-Blätter 8, 354 (1955)
- 17) GÜNTHER, H.: Über Gefahren und Schäden durch Röntgenstrahlen in der zahnärztlichen Röntgendiagnostik und die Bedeutung von Sicherungsmaßnahmen.
Dtsch. Zahnärztl. Zschr. 12, 913 (1957)
- 18) HANLE, W.: Strahlenarten und deren Ursprung
In Rajewsky, Wissenschaftliche Grundlagen des^a Strahlenschutzes. Karlsruhe 1957
- 19) HASCHE, E.: Zum Strahlenschutz in medizinischen Strahlenbetrieben
Fortschr. Röntgenstr. 58, 279 (1938)
- 20) HASCHE, E.: Über die Messung des Strahlenschutzes auf photographischem Wege in Röntgeneinheiten.
Fortschr. Röntgenstr. 60, 74 (1939)
- 21) HEISE, G.: Die Experimentelle Prüfung von Strahlenschutz und Raumstrahlung in 18 neuzeitlichen Röntgenbetrieben.
Strahlenther. 53, 574 (1935)
- 22) HERBST, W.: Radioaktive Aerosole und das Schutzproblem beim Betrieb von Atomkernreaktoren.
Zschr. Aerosol. Forsch. 4, 473 (1955)
- 23) HOLSTEIN, E.: Wesen und Wirkung von Röntgenstrahlen und radioaktiven Substanzen und die Grundlagen zur Schadenverhütung.
Zbl. Gewerbehyg. N. F. 19, 25 (1942)
- 24) HOLTHUSEN, H.: Medizinisch - radiologische Probleme des Strahlenschutzes. Strahlenther. 106, 15 (1958)
- 25) HOWARD, A.: An attempt to assess the genetic changes resulting from the irradiation of human population.
Brit. J. Radiol. 29, 270 (1956)
- 26) ILG v. K.: Untersuchungen über die Röntgen-Strahlenbelastung.
Dtsch. Zahnärztl. Zschr. 12, 733 (1957)
- 27) Internationale Kommission für Röntgen- und Radiumstrahlenschutz
Fortschr. Röntgenstr. 51, 89 (1935)
- 28) Internationale Richtlinien zum Schutz gegen Röntgen- und Radiumstrahlen.
Strahlenther. 61, 394 (1938)
- 29) JAEGER, R.: Erweiterungen und Ergänzungen der internationalen Strahlenschutzempfehlungen.
Strahlenther. 102, 582 (1957)

- 30) JANSEN, G. Th. and C. Curtis: X-ray exposure in dermatologic personnel.
Arch. of Dermat. 73, 66 (1956)
- 31) JOYET, G.: La base expérimentale et la signification de la
dose de rayonnement maximum admissible.
Z. med. Isotopenforsch. 1, 135 (1957)
- 32) KAPLAN, R. W.: Die Gefährdung der Erbanlagen des Menschen durch
Strahlen.
Naturwissenschaften 44, 433 (1957)
- 33) KNIERER, W. und C. G. Schirren: Eine neue Art von Augenschutzschalen
in der Strahlentherapie.
Strahlenther. 89, 606 (1953)
- 34) KOREN, K. and S. Maudal: Gonad doses received during the medical
application of Roentgen radiation.
Acta radiol. (Stockh.) 48, 273 (1957)
- 35) LANGENDORFF, H., G. Spiegler und F. Wachsmann:
Strahlenschutzüberwachung mit Filmen.
Fortschr. Röntgenstr. 77, 143 (1952)
- 36) LANGENDORFF, H. und F. Wachsmann: Ergebnisse der Strahlenschutzüber-
wachung mit Filmen.
Fortschr. Röntgenstr. 80, 382 (1954)
- 37) LEPPER, A.: Über Strahlenschutzmessungen in der Therapieabtei-
lung des Universitäts-Röntgeninstitutes zu Frankfurt
am Main.
Frankfurt, Med. -Diss. 1950
- 38) LÖSSL, H. J.: Über die Strahlenbelastung der Gonaden bei diagnosti-
scher und therapeutischer Anwendung ionisierender
Strahlen. Strahlenther. 103, 614 (1957)
- 39) LOSSEN, H.: Die Ordnung der Arbeiten zur Erforschung und Be-
kämpfung der Strahlengefährdung.
Ztbl. Arbeitsmed. u. Arbeitsschutz 3, 97 (1953)
- 40) LORENZ, W.: Das akute Strahlensyndrom.
In Rajewsky, Wissenschaftliche Grundlagen des
Strahlenschutzes, Karlsruhe 1957
- 41) - Physikalisch - technische Probleme des Strahlen-
schutzes in medizinischen Anlagen.
Fortschr. Röntgenstr. 88, 251 (1958)
- 42) LÜERS, H.: Die Frage der Übertragbarkeit strahlengenetischer
Versuchsergebnisse auf den Menschen.
Med. Klin. 1957, S. 1488
- 43) MAGILL, R. J.: Batch processing of film for radiation protection of
personnel. Arch. of Industr. Med. 10, 37 (1954)

- 44) MARQUARDT, H.: Strahlengenetik.
In Rajewsky, Wissenschaftliche Grundlagen des
Strahlenschutzes. Karlsruhe 1957
- 45) - Die Toleranzdosis vom genetischen Standpunkt
gesehen.
In Rajewsky, Wissenschaftliche Grundlagen des
Strahlenschutzes. Karlsruhe 1957
- 46) MARTIUS, H. und F. Kröning: Zur Frage der Erbgutschädigung durch
Röntgen- und Radiumstrahlen.
Med. Welt 1938, 947
- 47) Medical Research Council "The Hazards to Man of Nuclear and Allied
Radiations" (presented by the Lord President of the
Council to Parliament) London.
Her Majesty's Stationary Office, June 1956
- 48) MELCHING, H. J. und H. Dresel: Zur Strahlenbelastung bei diagnostischen
und therapeutischen Maßnahmen mit energiereichen
ionisierenden Strahlen.
Fortschr. Röntgenstr. 87, 553 (1957)
- 49) MOHR, H.: Über Messungen der Gonadendosis bei Patienten
der Röntgendiagnostik.
Strahlenther. 106, 80 (1958)
- 50) MÜLLER, H. J.: The problem of genetic modification.
Verh. intern. Vererb. wiss. 1, 234 (1928)
- 51) MUTH, H.: Zusätzliche Strahlenbelastung durch zivilisatorische
Einflüsse.
In Rajewsky, Wissenschaftliche Grundlagen des
Strahlenschutzes. Karlsruhe 1957
- 52) - Spezielle Fragen des Strahlenschutzes der Bevölkerung.
Strahlenther. 106, 59 (1958)
- 53) MUTSCHELLER, A.: Physikal standards of protection against roentgen ray
dangers.
Amer. J. Roentgenol. 13, 65 (1925)
- 54) OESER, H.: Strahlenschutzmessungen an Nahbestrahlungsgeräten.
Strahlenther. 70, 646 (1941)
- 55) PETROVIC, F. und P. Frank: Messungen der die Ärzte und das Personal
gefährdenden Strahlen in diagnostischen Röntgen-
betrieben.
Radiol. clin. (Basel) 25, 20 (1956)
- 56) PETZOLD, H.: Ionometrische Messungen des Strahlenschutzes in
medizinischen Röntgeninstituten.
Fortschr. Röntgenstr. 49, 406 (1934)

- 57) PICKHAN, A.: Erbschädigungen durch Strahlen.
Strahlenther. 62, 240 (1938)
- 58) POHLIT, W.: Messungen an Neutronenstrahlen.
In Rajewsky, Wissenschaftliche Grundlagen des
Strahlenschutzes. Karlsruhe 1957
- 59) POPPE, E.: Experimental investigations of the effects of
Roentgen-rays on the epithelium of the crystalline
lens. Acta radiol. (Stockh.) 23, 354 (1942)
- 60) PURSER, P.R. and C.F. Qvist: An estimate of the genetic dose from radio-
therapy. Acta radiol. (Stockh.) 48, 267 (1957)
- 61) RAJEWSKY, B.: Wissenschaftliche Grundlagen des Strahlenschutzes.
Karlsruhe: G. Braun (1957)
- 62) SAUPE, E.: Bemerkungen zu einigen Fragen des klinischen Rönt-
genbetriebes, insbesondere zum Strahlenschutzproblem.
Röntgenprax. 14, 17 (1942)
- 63) SCHEELE, L.A. and D.B. Cowie: Radiation protection in forty-five hospitaes
J. amer. med. Assoc. 117, 588 (1941)
- 64) SCHIRREN, C.G.: Über die Bedeutung des Strahlenschutzes bei der
Röntgennabestrahlung.
Hautarzt 4, 160 (1953)
- 65) - Untersuchungen über die physikalischen und biologi-
schen Grundlagen der Röntgenweichstrahlung aus
berylliumgefensterten Therapieröhren und ihre An-
wendung in der Praxis.
Habilitationsschrift Univ. München 1954
- 66) - Über die Bedeutung der Weichstrahlung für die dermato-
logische Röntgentherapie.
I. Mitteilg. Physik. Grundlagen.
Arch. f. Dermat. 199, 228 (1955)
- 67) - II. Mitteilung
Arch. f. Dermat. 199, 578 (1955)
- 68) - Röntgentherapie von Hautkrankheiten bei Anwendung
von Weichstrahlgeräten
in A. Marchionini, Fortschritte der praktischen Derma-
tologie und Venerologie, II. Band, S. 157, Springer
Verlag Berlin-Göttingen-Heidelberg 1955
- 69) - Über eine gefahrlose Röntgenepilation des behaarten
Kopfes. Strahlenther. 101, 393 (1956)
- 70) - Röntgenweichstrahlen
in Dermatologie und Venerologie von Gottron und
Schönfeld, Stuttgart: Georg Thieme 1958

- 71) SCHRAUB, A.: Die natürliche Strahlenbelastung.
In Rajewsky, Wissenschaftliche Grundlagen des Strahlenschutzes. Karlsruhe 1957
- 72) SCHUBERT, G.: Zum Strahlenschutz in medizinischen und technischen Strahlenbetrieben. Eine Entgegnung zu dem gleichnamigen Aufsatz von E. Hasche in "Die technische Assistentin" Nr. 9 1939, zugleich ein Beitrag zur quantitativen Abschätzung der Erbschädigungsgefahr. Dtsch. med. Wschr. 1940 I, 436
- 73) SCHUBERT, G.: Zur Verhütung strahlenbedingter Erbschäden. Hippokrates 1942, 515
- 74) SEELENTAG, W.: Strahlung und Mensch. ein brennendes Zeitproblem. Mat. Med. Nordm. Wiss. Beibl. 23 (1957)
- 75) SEELENTAG, W., D. v. Arnim, E. Klotz und J. Numberger:
Zur Frage der genetischen Belastung der Bevölkerung durch die Anwendung ionisierender Strahlen in der Medizin. II. Teil Messungen über die bei röntgen-diagnostischen Untersuchungen an die Gonaden gelangenden Dosen.
Strahlenther. 105, 169 (1958)
- 76) SIEVERT, R. M.: Kopenhagen, 7. - 11. Aug. 1956, Tagung der Weltgesundheitsorganisation
- 77) SOMMERMAYER, K. und G. Heiner: Strahlenschutzüberwachung durch photographische Registrierung von Fluoreszenz. Naturwissenschaften 42, 508 (1955)
- 78) STANFORD, R. W. and J. Vance: The quantity of radiation received by the productive organs of patients during routine diagnostic x-ray emanations. Brit. J. Radiol. 28, 266 (1955)
- 79) STUMPF, P.: Medizinische Strahlenkunde.
München: Rudolph Müller u. Steinicke 1947
- 80) Tagungen der Internationalen Kommissionen für Strahlenschutz und für radiologische Einheiten und Strahlenmessung in Genf. April 1956
Fortschr. Röntgenstr. 84, 770 (1956)
- 81) TAYLOR, L. S.: State control of protection against ionizing radiation Amer. J. Roentgenol. 71, 691 (1954)
- 82) - Legislativ control of radiation
Radiology 66, 246 (1956)

- 83) The biological effects of atomic radiation, summary report from a study by the National Academy of Sciences.
Nat. Res. Council., Washington 1956.
Science 124 (1956)
- 84) TIMOFEEFF-RESSOVSKY N. W. und K. G. Zimmer: Strahlengenetik.
Strahlenther. 66, 684 (1939)
- 85) Vorschriften für den Strahlenschutz in medizinischen Röntgenanlagen
DIN Rönt 2/1933.
Fortschr. Röntgenstr. 47, 226 (1933)
- 86) WACHSMANN, F. und G. Barth: Die Nahbestrahlung nach Chaoul.
Berlin-München: Urban u. Schwarzenberg 1949
- 87) WAGNER, K. J.: Strahlenschutz der Röntgentiefentherapieanlagen in
der neuen Geschwulstpoliklinik.
Dtsch. Gesundheitswesen 1954, 817-822
- 88) WEDER, B.: Strahlenschutz der Augenlinse bei Röntgenbestrahlun-
gen im Bereich des Auges in der Oberflächentherapie.
Röntgen- u. Laborat.-Prax. 8, 255 (1955)
- 89) WENDT, G. G.: Strahlenschäden an den menschlichen Erbanlagen.
Dtsch. med. Wschr. 1956, 1859-1860
- 90) WENK, P.: Messungen in Bezug auf den Strahlenschutz des
Bedienungspersonals bei der Siemens-Röntgenbombe.
Strahlenther. 68, 343 (1940)
- 91) WESTERGAARD, M.: Man's responsibility to his genetic heritage.
Bull. Atomic. Scientists 11, 318 (1955)
- 92) WITTEN, V. H., M. B. Sulzberger and W. D. Stewart: Studies on the
quantity of radiation reaching the gonadal areas
during dermatologic x-ray therapy.
J. Invest. Dermat. 28, 187 (1957)

Da das Manuskript der Arbeit bereits im Mai
1958 fertiggestellt war, konnten alle seither
erschiedenen einschlägigen Veröffentlichungen
nicht mehr berücksichtigt werden.

LEBENS LAUF

Ich, Norbert Haumayr, bin geboren am 25. 6. 1934 in Prien am Chiemsee als Sohn des Versicherungskaufmanns Josef Haumayr und dessen Ehefrau Centa, geborene Brunnacker.

Nach dem Besuch von 4 Klassen Volksschule in Oberschleißheim bei München trat ich 1946 in das Humanistische Gymnasium in Ingolstadt ein, das ich 1953 absolvierte.

Im November 1953 immatrikulierte ich an der Universität in München; hier widmete ich mich ohne Unterbrechung dem Studium der Zahnheilkunde, legte 1955 die zahnärztliche Vorprüfung und 1957 die zahnärztliche Prüfung erfolgreich ab. Im Januar 1958 erhielt ich die Approbation als Zahnarzt.

